

Юрий Берков
Водолазная электроника

Юрий Берков

Водолазная электроника



Аннотация

Книга предназначена для инженеров-конструкторов электронной аппаратуры для водолазов, решающих задачи подводной навигации, связи, привода, телеуправления, поиска затонувших предметов, коррекции речи. В книге представлены отечественные разработки в указанных областях и перспективы дальнейшего развития этих направлений. Книга может быть полезна студентам технических вузов, профессиональным водолазам и дайверам.

Водолазная электроника

Юрий Берков

Шрифты предоставлены компанией «ПараТайп»

© Юрий Берков, 2018

12+

ISBN 978-5-4493-6821-8

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Юрий Берков



**ВОДОЛАЗНАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА**

История развития и перспективы



2018г.

Предисловие

Водолазное дело с каждым годом всё прочнее входит в нашу повседневную жизнь. Водолазы применяются, как для решения различных народнохозяйственных, так и военных задач.

Это и поиск затонувших предметов, спасательные и судоподъёмные работы, противодиверсионная и противодесантная оборона, скрытная доставка разведгрупп на побережье противника, проникновение в военно-морские базы и порты.

Кроме того, это чисто спортивные и туристические водолазные погружения (дайвинг). А также подводная археология, спелеология, геология, экология, ихтиология.

Всё это требует развития и совершенствования, как самого водолазного снаряжения, так и приборов подводной навигации, связи, привода, поиска, а также средств передвижения водолазов под водой.

При этом должна быть обеспечена необходимая длительность и безопасность водолазных спусков, как на малых, так и на больших глубинах.

Иными словами, водолаз должен чувствовать себя под водой как рыба в воде.

За последние годы в мире немало сделано для развития водолазного дела. Наша страна тоже имеет заслуги в этом направлении. Именно у нас в 1990 году впервые достигнута глубина погружения водолазов 500м. Именно наши акванавты жили и выполняли работы под водой на предельных глубинах в барокамерах в течение 32-х суток. Только у нас построено спасательное судно «Игорь Белоусов», обеспечивающее длительные работы водолазов на глубинах до 450м.

Но решены далеко ещё не все задачи подводного поиска, подводной навигации, привода и связи. Именно на них я и хочу остановиться в своей книге. Их эффективное решение возможно только путём создания необходимых электронных приборов водолаза. Многое у нас уже сделано в этом направлении, но многое ещё предстоит сделать. Есть интересные идеи и интересные конструкции электронных средств. Всё это может быть полезно специалистам конструкторских бюро и студентам технических ВУЗ-ов страны.

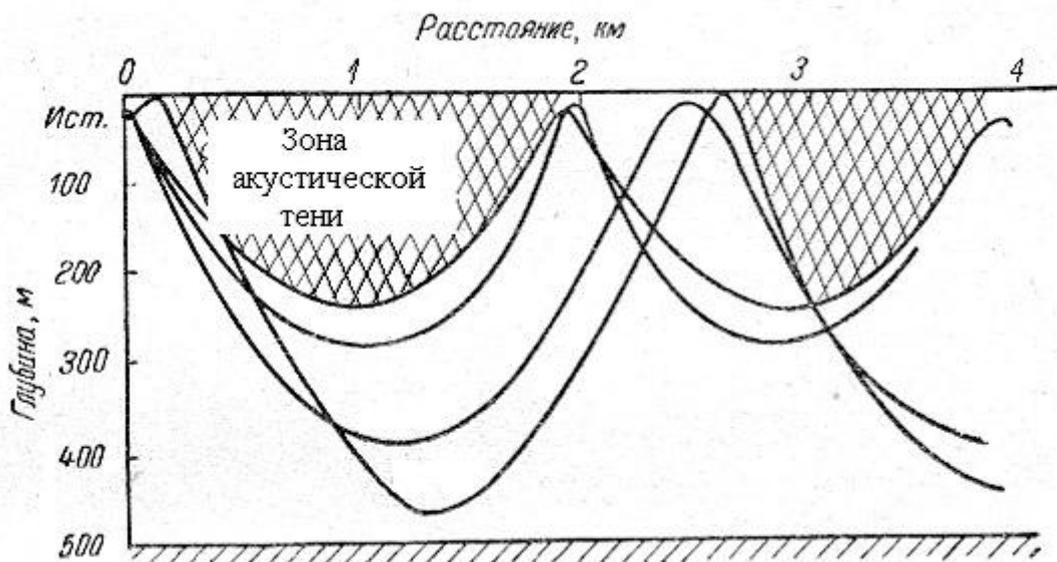
Глава 1. Введение в физику моря

1.1. Акустические свойства водной среды

Работа гидроакустических приборов водолаза основана на способности звуковых волн распространяться в воде с малым затуханием. Из-за высокой плотности воды (вода в 800 раз плотнее воздуха) поглощение звука в воде почти в 300 раз меньше, чем в воздухе. В результате звук способен распространяться в воде на сотни и тысячи метров, при достаточно малых мощностях излучения (единицы ватт). Скорость распространения звука в воде почти в 5 раз выше, чем в воздухе. Если в воздухе звук распространяется со скоростью 330 м/с, то в воде скорость звука составляет в среднем 1500 м/с. Она может изменяться в зависимости от температуры, солёности и давления в относительно небольших пределах +35; — 25 м/с. Однако и это имеет существенное значение для траектории звуковых лучей.

1.1.1. Изменение скорости звука в слоях воды с разной глубиной из-за разности температур приводит к искривлению (**рефракции**), звуковых лучей, что влияет на дальность действия гидроакустических приборов. При искривлении лучей в сторону дна (отрицательная рефракция) дальность действия гидроакустических приборов резко снижается. Определяется она верхним звуковым лучом, скользящим по поверхности воды и уходящим вглубь. Поэтому возникает зона акустической тени на малых глубинах.

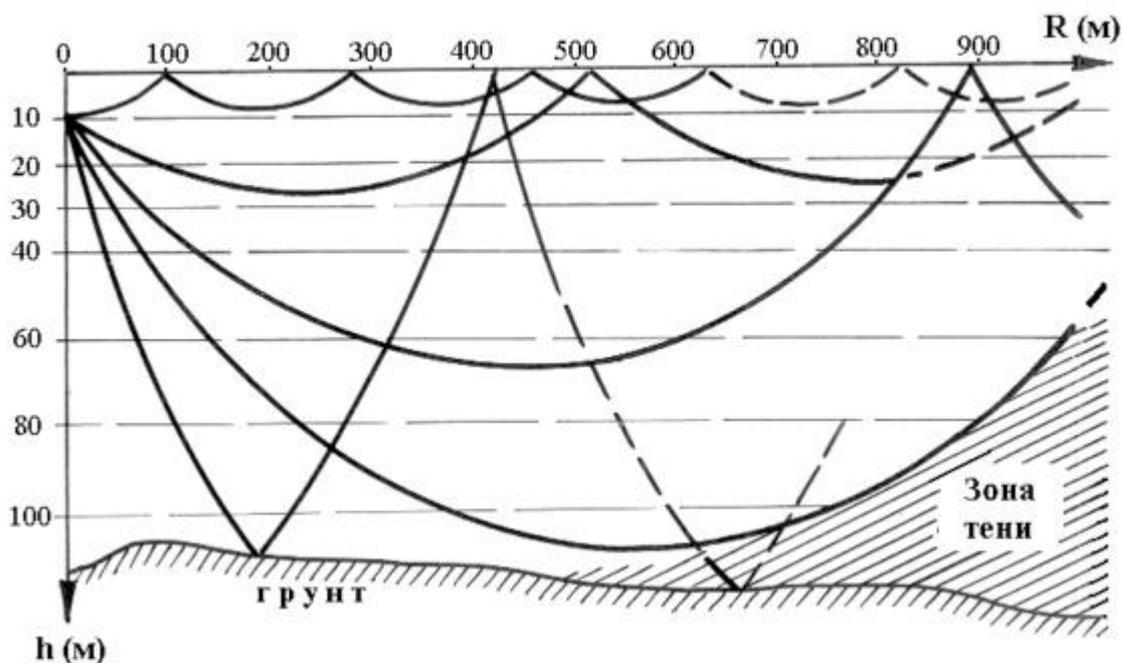
Отрицательная рефракция возникает тогда, когда температура воды падает с глубиной. Это характерно для летнего времени, особенно в дневные часы, когда верхний слой воды прогрет солнцем и имеет более высокую температуру (рис. 1). Однако в прибрежных мелководных районах глубокой акустической тени, как правило, не бывает в результате многократного отражения звука (реверберации) от грунта и поверхности воды. Возможны лишь флуктуации звука по амплитуде. Т.е. мы можем иметь отдельные зоны неустойчивого гидроакустического контакта. Тут всё зависит от мощности источника звука и дистанции до него. Мощность гидроакустических приборов водолаза не велика и дальность их действия составляет, как правило, сотни, но иногда и более 2-3 тысяч метров.



P

ис. 1. Траектории звуковых лучей при отрицательной рефракции в глубоком море.

Положительная рефракция (рис. 2) возникает, когда скорость звука с глубиной повышается. Она характерна для зимнего периода, когда верхние слои воды холоднее нижних. Дальность действия гидроакустических приборов определяется нижним звуковым лучом. Зона акустической тени находится на больших глубинах.



P

ис. 2. Траектории звуковых лучей при положительной рефракции в глубоком море.

В поверхностном слое наблюдается многократное отражение звуковых волн.

Изотермия (постоянная температура воды на всех глубинах) характерна для весенне-осеннего периода, а также после шторма на небольших глубинах. Обычно это кратковременное явление (наблюдается от нескольких часов до нескольких суток). Звукоподводная связь при изотермии устойчива на всех глубинах.

Подводный звуковой канал возникает, как правило, на больших глубинах (сотни метров), когда в верхних слоях моря рефракция отрицательная, а в нижних — положительная (из-за роста давления). Водолазы с ним, как правило, не сталкиваются. Дальность распространения звуковых волн в подводном звуковом канале может составлять сотни километров. Этим пользуются подводные лодки.

Слой скачка, это верхний слой воды с температурой значительно более высокой, чем нижние слои. Такой слой возникает при прогреве солнцем верхних слоёв моря на глубину 5 — 10 м., как правило, в конце жаркого дня. Звуковые волны отражаются от него, не выходя на поверхность. Погрузившись под слой скачка, водолаз может потерять связь с обеспечивающим катером.

1.1.2. На дальность действия гидроакустических приборов влияет также **реверберация**, т.е. отражение звука от пузырьков газа в воде и планктона (объёмная реверберация), от поверхности моря (поверхностная реверберация) и от грунта (донная реверберация).

Объёмная реверберация обычно сильна в прибрежных районах, где много планктона и пузырьков воздуха из-за образования пены при набегании волн на прибрежную отмель.

Донная реверберация характерна для малых глубин и зависит от характера грунта. Если он каменистый или песчаный, то донная реверберация значительна (отражается до 30 — 40% энергии звука). Если грунт илистый и покрыт водорослями — донная реверберация может отсутствовать.

Реверберация всегда сопровождается интерференцией звуковых волн. Это приводит к образованию максимумов и минимумов акустической освещённости — звуковых полос. В результате, при движении водолаза или подводного средства движения (ПСД), звук всё время флуктуирует по амплитуде. В аппаратуре связи и привода водолазов принимаются защитные меры от этих флуктуаций в виде автоматической регулировки усиления.

Поверхностная реверберация зависит от волнения моря. Если оно спокойно, то полосы интерференции чёткие. Если море 2 — 3 балла, то полосы смазаны и не мешают гидроакустической связи.

Для борьбы с поверхностной и донной реверберацией в гидролокаторах водолаза применяются остронаправленные гидроакустические антенны, луч которых не касается дна и поверхности моря.

От частоты звуковых колебаний зависит и поглощение звука в воде. Чем выше частота, тем сильнее поглощение. Вот почему высокочастотные приборы имеют малые дальности действия. В таблице 1 приведены уровни затухания звуковых волн в зависимости от частоты излучения.

Таблица. 1.

	Значения частоты колебаний (F_0 , кГц)						
Затухание дБ/км	1	5	10	20	30	50	100
	0,036	0,4	1,03	3,0	5,45	11,7	36,0

примечание: 6 дБ соответствуют затуханию в 2 раза; 20 дБ соответствуют затуханию в 10 раз; 40 дБ соответствуют затуханию в 100 раз; 60 дБ соответствуют затуханию в 1000 раз.

Таковы, в основном, акустические свойства водной среды.

1.2. Оптические свойства водной среды

Оптические свойства морской воды характеризуются её прозрачностью. Прозрачность определяется дальностью видимости водолазом белого диска диаметром 20см. При дальности видимости более 10м прозрачность считается хорошей. Максимальная прозрачность воды бывает вдали от берега, на больших глубинах. Там она может достигать 50 и более метров.

Вблизи побережья прозрачность обычно снижена до 4 — 6м за счёт планктона, взвесей в виде песка и ила. Часто прозрачность в прибрежных районах (особенно в устьях рек) не превышает 0,5м. Прозрачность сильно снижается во время и после шторма. В связи с этим применение для подводного поиска фото и телекамер в прибрежных районах сильно затруднено. Применение подсветки в виде сине-зелёных лазеров позволяет увеличить дальность действия фото и телекамер в 1,5 — 2 раза.

Наиболее сильно в воде затухает красный свет (инфракрасный вообще не проходит). Поэтому применение красных светодиодов для индикации состояния приборов и красных цветов экрана жидкокристаллических панелей возможно только на близком расстоянии (до 0,3м) от глаз водолаза.

Ещё одним фактором, который может отрицательно влиять на видимость приборов водолаза на малых глубинах это солнечная засветка.

В солнечный день от поверхности волн отражается множество солнечных зайчиков, которые засвечивают приборы водолаза (часы, компас, глубиномер и др.). В старых приборах (гидролокаторы, пеленгаторы) с электронно-лучевыми трубками солнечные зайчики засвечивали белые экраны ЭЛТ и надо было принимать меры к их затенению (обычно головой водолаза).

В новых планшетах с жидкокристаллическими панелями их экран тёмный и свет не отражает. Однако есть защитное стекло, которое может создавать блики и мешать работе водолаза. Блики могут создавать также хромированные (никелированные) ручки и кнопки, а также блестящие (полированные) корпуса приборов. Поэтому корпуса приборов желательно окрашивать в чёрный матовый цвет.

1.3. Электрические свойства водной среды

1.3.1. Чистая дистиллированная вода является диэлектриком и не проводит электрический ток. Однако в природе дистиллированной воды практически не бывает. Даже в пресной речной воде растворены различные соли, которые делают её электропроводной.

Морская вода имеет солёность от 20 до 35 промилей и является хорошим проводником электрического тока. В ней растворены соли натрия, кальция и др. металлов. Сопротивление морской воды составляет около 2 Ом. Это приводит к тому, что все электрические приборы, которые теряют герметичность и в них проникает морская вода, быстро выходят из строя. Особенно часто затекают контактные разъёмы аппаратуры. За ними нужен постоянный контроль и уход (смазка вазелином, циатимом-201 или специальной консистентной смазкой). По возможности следует применять бесконтактные индукционные разъёмы.

Если морской водой залит силовой разъём аккумуляторной батареи, то возникает короткое замыкание. Электролит в аккумуляторных банках может закипеть. Возникает большое количество газов. В аккумуляторном отсеке повышается давление, что может привести к взрыву. Взрыв под водой очень опасен для водолаза, поскольку может привести к баротравме лёгких.

1.3.2. Высокую электропроводность воды в 80-х годах прошлого века пытались использовать для связи между водолазами. Для этого в г. Омске была изготовлена аппаратура «Бастион» (в корпусе станции гидроакустической связи МГВ-6В). На гидрокостюм водолаза наклеивались электроды из алюминиевой фольги (на ноги и руки). Через воду пропускаться электрический ток от микрофонного усилителя водолаза. Аппаратура другого водолаза принимала сигнал на такие же электроды, (чувствительность 1 мкВ.) усиливала его и подавала на телефоны.

Испытания аппаратуры проводились на Каспии в г. Баку (автор книги участвовал в этих испытаниях от 40 ГНИИ МО). Они показали, что при выходной мощности 5 Вт. связь между водолазами возможна на расстоянии до 25м. При увеличении антенной базы до 50м. (электроды — корпус водолазного катера и подвешенная за ним на буйке металлическая пластина) дальность связи увеличивалась до 150м. Антенны улавливали гальванические токи растекания, которые создавали металлические пластины-электроды.

Дело в том, что силовые линии тока отталкиваются друг от друга из-за одинакового заряда движущихся в воде электронов (ионов). Поэтому они образуют широкий веер силовых линий между двумя полюсами. Это и позволяет принимать сигнал другому водолазу или катеру.

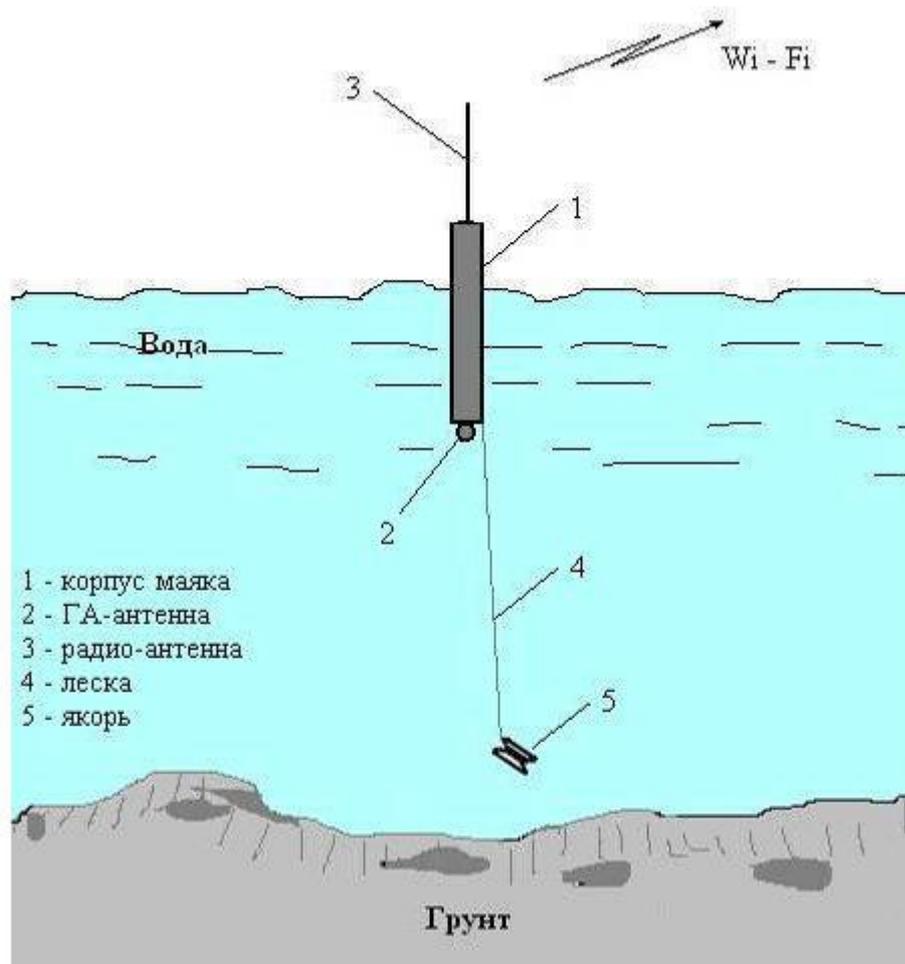
В целом, испытания признаны успешными, но дальность связи — недостаточной. Поэтому аппаратура серийно не выпускалась.

1.3.3. По причине своей высокой электропроводности морская вода почти не пропускает радиоволны. Они затухают в ней, образуя вихревые токи Фуко. Чем выше частота, тем сильнее затухание. В пресной воде (река, озеро) длинные радиоволны проникают в воду на глубину до 3 — 5 м. (работает радиоприёмник в СВ и ДВ — диапазонах). В море длинные волны проникают на глубину нескольких сантиметров. Сверхдлинные волны (длиной в несколько километров) проникают в морскую воду на глубину до 40м. Этим пользуются подводные лодки, для приёма сигналов с береговых постов связи.

Водолазов интересуют сверхкороткие радиоволны СВЧ-диапазона. Они применяются в системах спутниковой навигации GPS / ГЛОНАСС и в роутерах Wi-Fi. Такие радиоволны могут приниматься только антеннами, находящимися в надводном положении.

Антенна может подниматься над водой рукой водолаза при подвсплытии или пенопластовым буйком, соединённым гибким кабелем с приёмной аппаратурой, при движении водолаза на ПСД. Возможна связь водолазов с береговыми службами с помощью радио-гидроакустического маяка (рис. 3).

В этом случае, водолазы принимают гидроакустические сигналы маяка, а он принимает радиосигналы с берега и ретранслирует на берег сигналы водолазов или их приборов.



ис. 3. Радио-гидроакустический маяк для ретрансляции сигналов водолазов или показаний их приборов.

Радио-гидроакустический маяк также может использоваться для управления с берега автономным обитаемым подводным аппаратом.

Глава 2. Подводная навигация

Существует несколько способов определения места водолаза и подводных средств движения (ПСД) под водой:

- плавание по счислению;
- ориентация (определение места) по спутниковой навигационной системе GPS или «ГЛОНАСС» при подвсплытии;
- ориентация по гидроакустическим маякам.

2.1. Плавание по счислению

Является наиболее простым и наименее точным методом определения места водолаза, при плавании на ластах или на подводных средствах движения (буксировщиках, носителях водолазов).

В начале определяются координаты точки погружения водолаза. Они могут быть привязаны к географической карте или к точке определения места по GPS — ГЛОНАСС на маневренном планшете.

Затем координаты заносятся в систему счисления, и прокладывается траектория движения водолаза. В простейшем случае это может быть курс по магнитному компасу.

Далее счисление места может вестись по показаниям лага, компаса и глубиномера. Если лага нет, то используются часы и скорость, определённая на мерной линии для данного режима (темпа) движения. Эти показания перемножаются и дают пройденную дистанцию.

2.1.1. Навигационные приборы счисления места первого поколения

В XX веке в нашей стране был создан ряд навигационных приборов, позволяющих вести счисление места водолаза. Так, в начале 70-х годов в Советском Союзе (НИИ ШП «Дельфин», г. Ленинград) был создан навигационный прибор водолаза НПВ-2 (рис. 4).



Р

ис. 4. Буксировщик водолаза «Протон» с навигационным прибором водолаза НПВ-2. Цифрами на рисунке обозначены: 1 — прибор НПВ-2; 2 — магнитный компас «Дружба»; 3 — часы «Восток-амфибия»; 4 — глубиномер Г-5; 5 — индикатор скорости и дистанции; 6 — место для плёночного планшета.

Прибор имел в своём составе магнитный компас, часы, глубиномер и механический (вертушечный) лаг, который измерял скорость при помощи вращающегося набегающим потоком воды винта. Он же измерял и пройденную дистанцию. Прибор устанавливался на всех видах буксировщиков и мог буксироваться водолазом вручную. На передней площадке прибора НПВ-2 мог быть закреплён плёночный планшет с картой и оптическим пеленгатором (съёмным).

В 2008г. (после перестройки) были проведены межведомственные испытания подводного навигационного прибора УПН-1 (производства Котав-Ивановского завода).

Навигационный прибор УПН-1 (рис. 5) позволяет определять:

- направление по магнитному компасу в подводном и надводном положениях;
- путь и скорость по механическому лагу;
- глубину по глубиномеру;
- время по электронным часам.



P

ис. 5. Навигационный прибор водолаза УПН-1.

Цифрами на рисунке обозначены: 1 — поворотные ручки с источниками питания для подсветки приборов; 2 — электронные часы и лаг; 3 — магнитный компас; 4 — глубиномер; 5 — место для маневренного планшета.

Технические характеристики навигационного прибора УПН-1:

- максимальная глубина погружения — до 40 м;
- время непрерывной работы — не менее 10 часов;
- точность курсоуказания по магнитному компасу — не менее $+1^\circ$;
- точность определения глубины — 1 м;
- погрешность определения пути и скорости — не более 2%;
- два уровня подсветки приборов;
- съемный планшет для маршрутного задания;
- масса — 3 кг.



P

ис. 6. Плавание на буксировщике «Протон-С» с навигационным прибором УПН-1.

Навигационный прибор УПН-1 может применяться водолазом автономно, в дневное и ночное время (с использованием подсветки). Органы управления рассчитаны на работу в водолазных перчатках. Навигационный прибор УПН-1 имеет цифровую калибровку лага.

Недостатками указанных выше приборов счисления первого поколения являются:

- постоянно нарастающая ошибка счисления места при продолжительном плавании;
- сложность точного учёта погрешностей магнитного компаса (девиации и склонения);
- плохая читаемость показаний приборов в мутной воде;
- увеличение ошибки измерения скорости и дистанции механического (вертушечного) лага со временем за счёт износа трущихся поверхностей или их загрязнения;
- невозможность учёта приливо-отливных, ветровых и постоянных течений.

Всё это делает невозможным длительное плавание водолаза и ПСД по счислению из-за больших навигационных ошибок.

2.1.2. Навигационные приборы счисления места второго поколения

В последние годы нашим специалистам удалось значительно повысить точность плавания водолаза и ПСД по счислению за счёт внедрения:

- цифровых магнитных компасов;
- электронных глубиномеров;
- абсолютных (доплеровских) гидроакустических лагов.
- бесплатформенных инерциальных систем.

2.1.2.1. Цифровой магнитный компас представляет собой прибор, у которого нет вращающейся катушки или магнитной стрелки, а положение в магнитном поле Земли определяется с помощью магнитных (магнитометров, магниторезисторов) или индукционных датчиков.

Для примера рассмотрим цифровой магнитный компас ЦМК-01 (рис. 7). Он предназначен для измерения трёх компонент магнитного поля Земли и определения магнитного азимута.

Основными конструктивными узлами являются:

- трехкомпонентный магнитометрический гальваномагнитный преобразователь;
- цифровой интерфейс обмена данными;
- высокая частота выдачи измерений;
- встроенный цифровой датчик температуры для температурной компенсации результатов измерений.



P

ис. 7. Цифровой магнитный компас ЦМК-01.

Основные технические характеристики компаса ЦМК-01 приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Способ определения азимута	Магнитометрический
Максимальная чувствительность	0,1 мкТл
Режим работы	Непрерывный
Поддерживаемые интерфейсы	RS-485
Время от включения питания до готовности	1 сек
Частота выдачи измерений	50 Гц
Диапазон напряжения питания	9–36 В
Потребляемая мощность, не более	0,5 Вт
Диапазон рабочих температур	от - 40 до +60 °С
Масса	48 г
Габаритные размеры	16,5x49,5x63,5 мм
Срок службы	10 лет

Структурная схема ЦМК-01 приведена на рис. 8.

Большим преимуществом цифровых магнитных компасов перед обычными (стрелочными, картушечными) является наличие микроконтроллера, позволяющего автоматически вводить поправки на магнитное склонение и девиацию, что значительно повышает точность курсоуказания. Другим преимуществом является возможность отображения курса на цифровом индикаторе или электронном планшете с хорошей читаемостью ночью или в мутной воде.



ис. 8. Структурная схема компаса ЦНК-01.

В последние годы появились цифровые компасные платы (рис. 9), которые легко встраиваются в цифровой навигационный комплекс.



ис. 9. Цифровая компасная плата HMR3100 на индукционных датчиках.

В состав платы входит аксельрометр для компенсации дифферента.

2.1.2.2. Электронные глубиномеры (датчики глубины) представляют собой механоэлектрический преобразователь — сенсор, то есть устройство, преобразующее давление, в электрический параметр: сопротивление, емкость, электрический заряд и т. д. Сенсор должен иметь чувствительный элемент (ЧЭ), который воспринимает распределенную по поверхности силу и преобразует механическую энергию в электрическую. Идеальным решением для создания сенсора давления в нашей стране оказалось применение структуры кремний на сапфире (КНС).

Выбор сенсора КНС типа объясняется наличием отечественных производителей данного типа приборов, высокими исходными метрологическими характеристиками. Это позволило создать малогабаритные электронно-цифровые глубиномеры с диапазоном измерения глубин

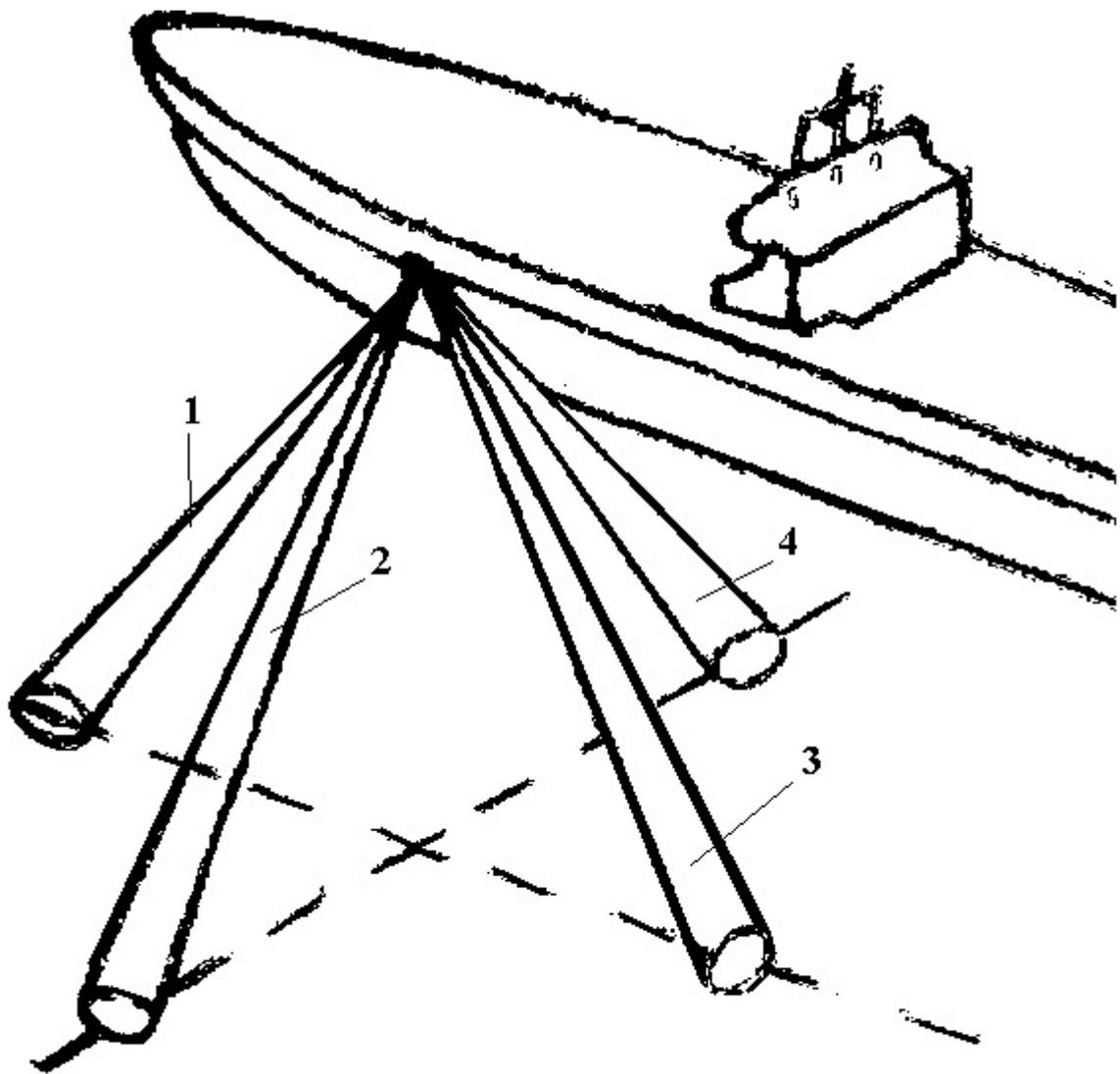
1 — 10000м. и погрешностью измерений 0,06% (рис. 10.) Созданы также индукционные и ёмкостные датчики давления.



ис. 10. Электронный датчик глубины на основе КНС.

2.1.2.3. Абсолютные (доплеровские) гидроакустические лаги (рис. 11) измеряют скорость судна относительно грунта. Все разработанные в настоящее время малогабаритные абсолютные лаги являются высокочастотными.

Принцип их работы основан на использовании эффекта Доплера. Импульс ультразвуковых колебаний, посылаемых с судна, отражается от грунта и возвращается обратно к судовому приемнику лага. При движении судна частота принятого сигнала будет отличаться от излучаемой в зависимости от скорости хода. Принцип работы ГАЛ заключается в измерении доплеровского сдвига частоты высокочастотного гидроакустического сигнала, посылаемого с судна и отражённого от поверхности дна. Результирующей информацией являются продольная и поперечная составляющей путевой скорости. ГАЛ позволяет измерить их с погрешностью до 0,1%. Разрешающая способность высокоточных ГАЛ составляет 0,01 уз.



P

ис. 11. Характеристики направленности антенн ГАЛ. Цифрами на рисунке обозначены акустические лучи от антенн.

Большинство существующих ГАЛ морских судов обеспечивают измерение абсолютной скорости при глубинах под килем до 200—300 м. При больших глубинах лаг перестаёт работать или переходит в режим измерения относительной скорости, т.е. начинает работать от некоторого слоя воды как относительный лаг. Антенны ГАЛ не выступают за корпус судна.

Для водолазов и ПСД ГАЛ должен иметь минимальные габариты, поэтому рабочая частота его выбирается в диапазоне 200 — 300кГц. Это обеспечивает измерение глубины и скорости ПА (ПСД) до 50м.

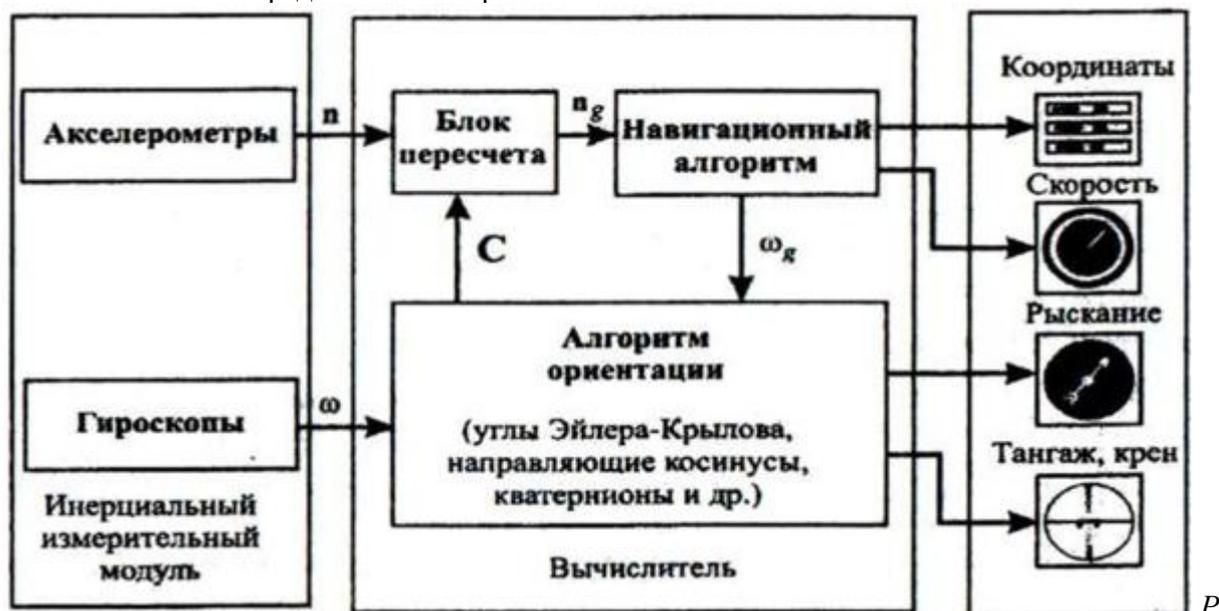
В начале 90-х годов в СССР была завершена разработка малогабаритных лагов ЛА-51, ЛА-52 и ЛА-53, обладавших повышенными точностными и эксплуатационными характеристиками. Причем, информационные возможности двух последних были значительно расширены за счет обеспечения измерений (помимо абсолютной и относительной скорости корабля) скорости и направления течений на различных горизонтах, глубины моря в точках падения на грунт акустических лучей лага и отстояния этих точек от антенной системы. ГАЛ ЛА-51 был установлен на ПСЛ «Сирена-М» и прошёл государственные испытания.

В настоящее время созданы малогабаритные ГАЛ для водолазов и ПСД массой 3 — 5 кг. На глубинах более 50м они работают как относительные (измеряют скорость относительно нижних слоёв воды), что несколько снижает точность их показаний.

2.1.2.4. Бесплатформенные инерциальные системы (БИНС) это новый вид инерциальных приборов, имеющих малые габариты и позволяющих выдавать координаты водолаза или ПСД в трёх плоскостях.

Основа БИНС это блок чувствительных элементов, состоящий из 3-х ортогонально расположенных гироскопов (датчиков угловой скорости) и 3-х ортогонально расположенных акселерометров.

Блок-схема БИНС представлена на рис. 12.



ис. 12. Блок-схема бесплатформенной инерциальной системы.

В бесплатформенных инерциальных навигационных системах нет подвижных деталей. Сам гироскоп, можно сказать, трансформировался в электровакуумный прибор.

В настоящее время гироскопы есть лазерные, волоконно-оптические, волновые твердотельные, микро-механические. Какой из них самый совершенный — это вопрос удовлетворения требований потребителя к точности формирования навигационной информации. Чем ниже точность и проще технология, тем дешевле БИНС.

Есть и другие типы гироскопов, которые еще не достигли технологического совершенства и не используются индустриально, например, СВЧ, ядерный магнитно-резонансный (рис. 13.), гироскоп на холодных атомах и другие.



ис. 13. Гироскоп на базе микроядерного магнитного резонанса (рядом монета).

Современный БИНС на лазерных гироскопах и кварцевых акселерометрах является одним из наиболее сложных, дорогих и высокотехнологичных изделий авиакосмической промышленности.

Разработкой БИНС авиационного применения в России занимаются ряд организаций, в том числе и Московский институт электромеханики и автоматики (МИЭА), входящий в КРЭТ. Причем БИНС только этого института принят в серийное производство. Системы навигации на лазерных гироскопах и кварцевых акселерометрах, разработанные в МИЭА входят в состав комплексов бортового оборудования современных и перспективных самолетов гражданского и военного назначения.

Кольцевые лазерные гироскопы и кварцевые акселерометры сегодня — самые точные и наиболее распространенные в мире.

Принцип действия лазерного гироскопа заключается в том, что внутри замкнутого по периметру пространства, образованного системой зеркал и корпусом, изготовленным из специального стекла, возбуждаются два лазерных луча, которые по каналам идут навстречу друг другу. Когда гироскоп находится в состоянии покоя, два луча «бегут» навстречу друг другу с одинаковой частотой, а когда начинает совершать угловое движение, то каждый из лучей изменяет свою частоту в зависимости от направления и скорости этого движения.

Через одно из зеркал выводится часть энергии лучей и формируется интерференционная картина. Наблюдая за этой картиной, с помощью фотоприемника считывают информацию об угловом движении гироскопа, определяют направление вращения по направлению движения интерференционной картины и величину угловой скорости по скорости ее движения. Фотоприемник преобразует оптический сигнал в электрический, а дальше начинаются процессы его усиления, фильтрации и отделения помех.

Сам гироскоп одноосный, он измеряет угловую скорость, действующую вдоль его оси чувствительности, которая перпендикулярна плоскости распространения лазерных лучей. Поэтому система состоит из трех гироскопов. Для получения информации не только об угловом, но и о линейном движении объекта в системе используются три измерителя ускорения — акселерометра. Это очень точные приборы, в которых на упругом подвесе в виде маятника подвешивается пробная масса. Современные акселерометры осуществляют измерения с точностью до одной стотысячной доли ускорения свободного падения.

Опытный образец новейшей бесплатформенной инерциальной навигационной системы БИНС-2015, способной работать без связи с GPS и ГЛОНАСС, весьма длительное время уже готов и прошел все испытания.

БИНС способна определять местоположение летательного аппарата автономно, без использования спутниковой навигации и связи с наземными объектами. Она может в условиях отсутствия сигналов извне определять координаты и параметры движения объекта, на котором установлена. При этом учитываются воздушные течения и перепады высоты.

Один из вариантов конструктивного исполнения современной БИНС представлен на рис. 14.



Чувствительные элементы:

- твердотельные волновые гироскопы;
- акселерометры навигационного класса.

Применение: для самолетов и вертолетов.

Погрешности определения:

- составляющие путевой скорости — 1 м/с;
- истинный курс — $0,1 \pm 0,01$ град/ч;
- крен, тангаж — 0,1 град.

ис. 14. Бесплатформенная инерциальная навигационная система ТВГ-1Г

Недостатком дешёвых электромеханических БИНС является существенное увеличение погрешности счисления координат с увеличением дальности и времени плавания. Поэтому высокую точность (ошибку в несколько метров) можно достичь только используя средства внешней коррекции (GPS и ГЛОНАСС). Кроме того, они самостоятельно не входят в меридиан, как гироскомпасы.

Из этого следует, что система счисления координат для ПСД может состоять и без БИНС, только из цифрового магнитного компаса, электронного глубиномера и доплеровского лага, плюс — средства внешней коррекции, используемые при подвсплытии.

В целом, все навигационные электронные приборы второго поколения позволяют выдавать сигналы в систему автоматики ПСД и за счёт этого реализовать автоматическое управление по курсу и глубине, а также автоматический выход ПСД в заданную точку. Это значительно облегчает работу водолаза.

2.2.2. Определение места по спутниковой навигационной системе GPS/ГЛОНАСС

В 2006г. в России была создана навигационная аппаратура определения места водолаза с использованием Глобальных спутниковых навигационных систем (СНС) ГЛОНАСС и GPS — «БРИЗ-КМ-СП». (ЗАО «КБ Навис», г. Москва), рис. 15.

Аппаратура размещалась на левой руке водолаза у запястья. Для определения координат места водолаз должен был поднять руку над водой и удерживать её в таком положении не менее 30 сек.

Аппаратура выдавала координаты места водолаза без дополнительной коррекции по наземным станциям согласно таблице 3. Таблица 3.

Предельное значение погрешности	ГЛОНАСС С (СТ и ВТ код)	ГЛОНАСС совместно с НАВСТАР (с S/A GPS)	ГЛОНАСС совместно с НАВСТАР (без S/A GPS)
Географические координаты	30 м	30 м	21 м
Скорости	0,15 м/с	0,15 м/с	0,15 м/с
Путевого угла	3 градуса	3 градуса	3 градуса

Максимальная рабочая глубина погружения аппаратуры — 40м.



ис. 15. Навигационный прибор водолаза системы GPS/ГЛОНАСС

Относительно большая погрешность в определении места объясняется тем, что в 2006г. система ГЛОНАСС ещё только создавалась, и количество спутников было невелико. В настоящее время система создана полностью (24 ИСЗ), и величина предельной погрешности определения места не превышает 5 — 15м в зависимости от региона. А при использовании автоматического определения аппаратурой навигационных параметров в дифференциальном режиме с учетом поправок от широкозонных дифференциальных систем (SBAS), величина предельной ошибки уменьшается до 1м. и менее.

Таким образом, задача выхода водолаза в заданную точку при использовании навигационных приборов счисления НПВ-2 или УПН-1 с периодической коррекцией места по СНС ГЛОНАСС и GPS в настоящее время успешно решена.

Однако у системы коррекции места по СНС есть и недостатки. Так необходимость водолазу подвсплывать и держать руку поднятой над водой требует непрерывной работы ластами. Это утомляет и демаскирует водолаза. Руку может накрыть волной и тогда сигнал от спутника пропадёт.

Лучше, если водолаз сможет буксировать буюк с антенной в виде штыря на гибком кабеле. При движении на ПСД это легко выполнимо.

2.2.3. Ориентация водолаза и ПСД по гидроакустическим маякам

В 80-х годах прошлого века для осуществления подводной навигации применялись активные гидроакустические системы в виде одного или нескольких гидроакустических маяков — ответчиков, установленных в районе работ (система «Экватор»). Погрешность в определении места по маякам составляла 1 — 5% от дистанции. Она зависела от гидрологии, от точности установки маяков, от глубины места. Способы определения места по гидроакустическим маякам изложены в приложении 1.

2.2.3.1. В 90-х годах в ЦНИИ «Гидроприбор» (в лаборатории Надеянского В.В) начали инициативную разработку и в 2002г. провёли испытания малогабаритного навигационного инерциально-гидроакустического комплекса (НИГАК) «Акватрасса». В нём используется принцип комплексирования измерений параметров движения и позиционирования водолаза, полученных измерителями различной физической природы: инерциально-гироскопической и гидроакустической. Конструктивно измерители реализуются бесплатформенной навигационной системой (БИНС) на микромеханических гироскопах и акселерометрах, гидроакустическими пеленгатором-дальномером со сверхкороткой базой и маяком-ответчиком, произвольно устанавливаемым в предполагаемой рабочей зоне водолаза (цифрового магнитного компаса в комплексе не было)

Основываясь на специальных алгоритмах вычислительной обработки результатов измерений параметров движения в бортовом компьютере (на микропроцессорных платах), определяются координаты пространственной траектории движения водолаза под водой в земной системе координат с погрешностью счисления его места относительно точки погружения не более ± 1 м при дистанции до маяка-ответчика не более 500 м. Для географической привязки к месту в состав комплекса входит приёмоизмеритель спутниковой навигационной системы США «Навстар» (GPS). Спутниковой навигационной системы «ГЛОНАСС» в России тогда ещё не было.

Макет комплекса включал в себя автономный гидроакустический маяк — ответчик и навигационный планшет водолаза, в составе которого:

- заплечный измерительный блок, включающий датчики БИНС, приёмно-излучающие антенны пеленгатора-дальномера с электронным блоком и устройство сбора аналого-цифрового преобразования и передачи информации;
- нагрудный компьютерный блок с микропроцессорными платами и дисплеем;
- поясной блок аккумуляторов.

Комплект алгоритмов и программ цифровой обработки измерительной информации включает в себя:

- программы формирования массивов измерений с адаптивным режимом квантования;
- программы оценки и Калмановской фильтрации ошибок измерений и восстановления неизмеряемых параметров траектории (положения в пространстве) по рекуррентной схеме и по полной выборке;
- интерфейс, определяющий последовательность и взаимодействие отдельных этапов обработки измерений и передачи данных на дисплей водолаза.

На дисплее в графическом виде отображается траектория движения водолаза в горизонтальной и вертикальной плоскостях, место гидроакустического маяка, а также параметры движения водолаза (курс, скорость, глубина, время) в цифровом виде.

Один из возможных вариантов использования НИГАК и вид отображаемой на дисплее водолаза информации приведены на рисунке 16.

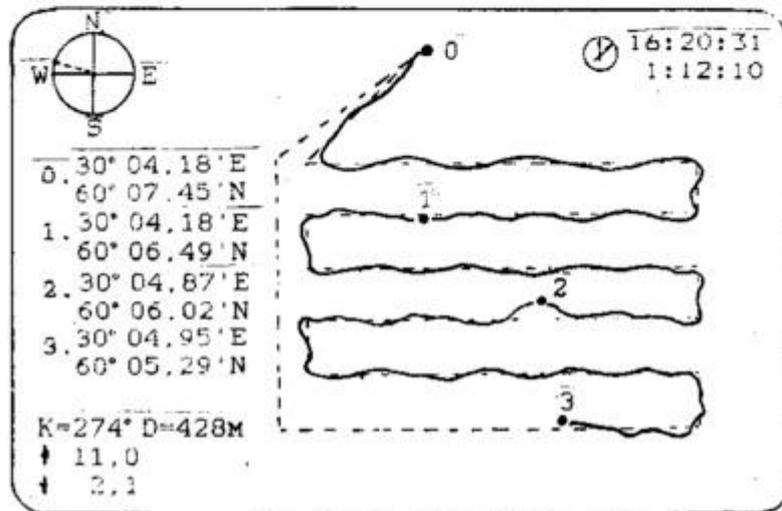
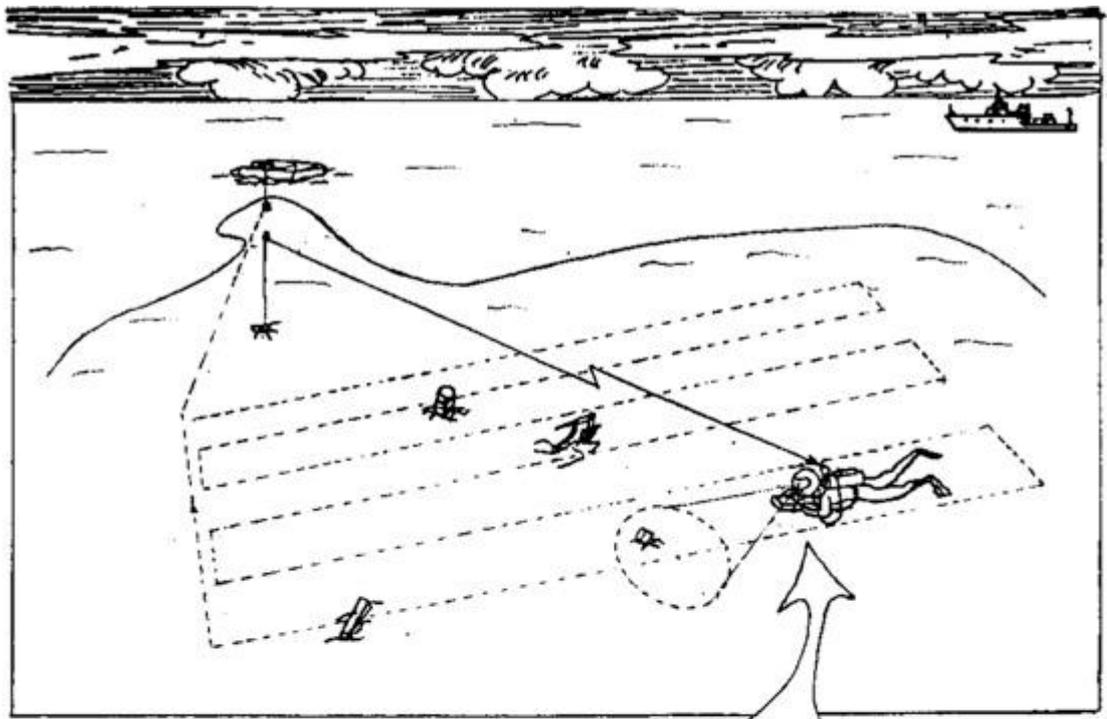
Предусмотрена возможность вывода на дисплей водолаза электронной цифровой карты района с обозначением всех навигационных препятствий и опасностей.

Все данные о параметрах движения водолаза под водой могут быть переданы на береговой пост или обеспечивающий водолазный катер по системе гидроакустической телеметрии, встроенной в навигационный планшет водолаза.

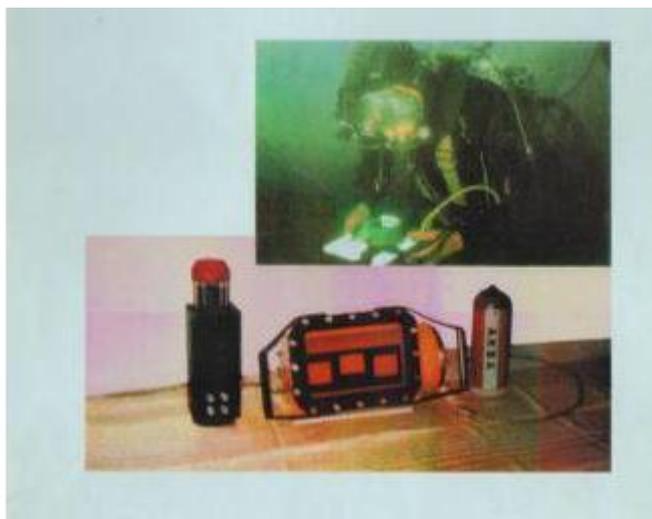
Масса навигационного планшета водолаза 5 — 10 кг в зависимости от варианта комплектации. Время непрерывной работы от внутреннего источника питания — 2 часа.

Внешний вид комплекса (макетный образец) представлен на рисунке 17.

К сожалению, эта пионерская разработка не пошла в серию из-за экономических трудностей, возникших в России в годы перестройки и последующие за ней годы экономического спада.



ис 16. Один из вариантов использования НИГАК для поиска затонувших предметов, и вид отображаемой на дисплее водолаза информации



P

ис. 17. Макетный образец навигационного комплекса «АкваТрасса».

Технические характеристики комплекса приведены ниже:

- радиус действия — до 500 м;
- глубина погружения — до 60 м.

Погрешности определения:

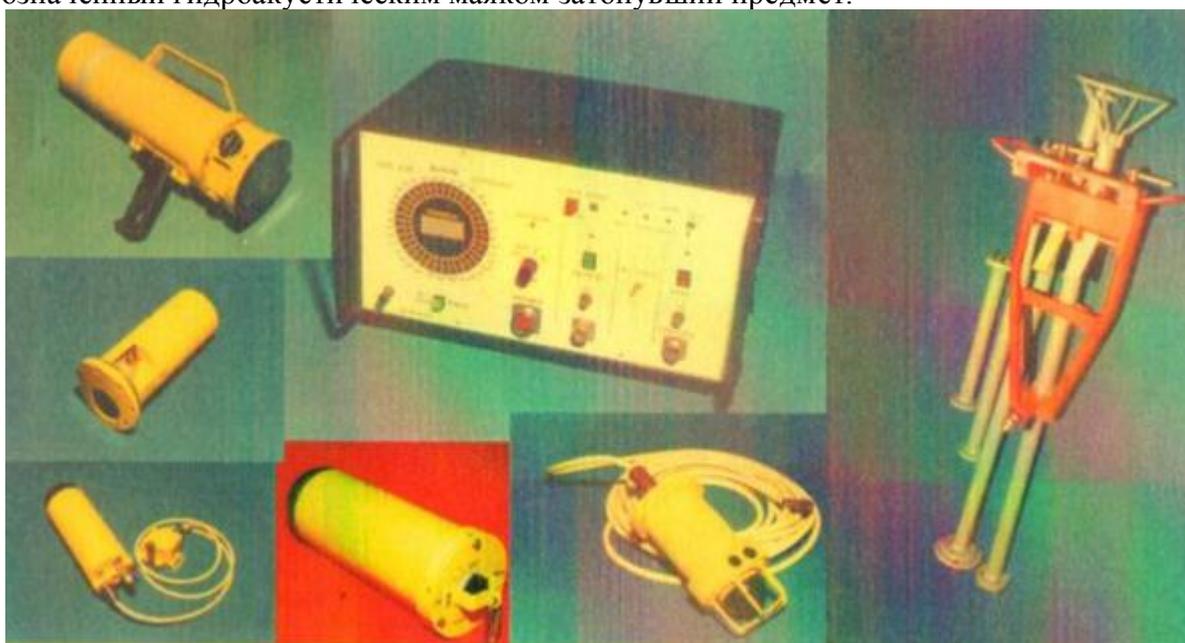
- координат относительно точки погружения не хуже 1,5 м;
- углов ориентации — не хуже 0,5 град;
- расстояния по эхолоту — не хуже 1%.

Предусмотрено дублирование курса по магнитному компасу с погрешностью — не хуже 1 градуса.

Время непрерывной работы — 2 часа.

Масса навигационного прибора водолаза в составе снаряжения 10 — 15 кг. (габариты и масса комплекса явно великоваты).

2.2.3.2. Возможно определение положения водолаза относительно обеспечивающего катера с помощью катерной гидроакустической аппаратуры типа «Стрела-1» (разработчик ФГУП ЦНИИ «Гидроприбор», главный конструктор Вощуков Л. В.). Внешний вид аппаратуры приведён на рис.18. Аппаратура предназначена для наведения водолаза на обозначенный гидроакустическим маяком затонувший предмет.



P

ис. 18. Состав малогабаритного гидроакустического комплекса «Стрела-1».

Состав:

- Широкообзорный ручной водолазный пеленгатор для точного и быстрого выхода на маяк;
- Донные маяки-ответчики для обозначения места работ водолазов;
- Водолазный аварийный автономный маяк;
- Переносной пеленгатор кругового обзора, размещаемый на обеспечивающих плавсредствах;
- Универсальное переносное опускаемое устройство для крепления антенны пеленгатора.

Аппаратура имела следующие технические характеристики:

- радиус действия комплекса, м. до 1500;
- точность выхода на маяк, м. +2;
- автономность (без замены батарей), сут.
- донные маяки 30;
- водолазный маяк 10;
- ручной пеленгатор водолаза 0,5;
- глубина использования, м.
- комплекса до 100;
- донных маяков до 500;
- масса, кг.
- водолазный маяк 0,7;
- ручной пеленгатор водолаза 3,5;
- маяк-ответчик 2,5;
- пеленгатор корабельный 15;
- плавучесть в воде — нулевая

Водолаз выходит на маяк с помощью ручного пеленгатора (погрешность пеленгования +10 градусов). Корабельный пеленгатор имеет 36 секторов обзора шириной в 10° . Измеряет дистанцию до водолаза, запрашивая его гидроакустический маяк. Одновременно он может следить за 6-ю водолазами, работающими в разных секторах и направлять их по ЗПС.

Ошибка удержания места водолазом при коррекции его движения с катера может составлять 5 — 10м. на дистанции 100м. На дистанции 500м она увеличивается до 30 — 60м. Возможно снижение ошибки при доработке катерного пеленгатора.

2.2.3.3. В последующие годы рядом организаций были созданы более совершенные системы ориентации водолаза по гидроакустическим маякам. Так в Лаборатории подводной связи и навигации создана подводная акустическая система позиционирования RedWAVE.

Система RedWAVE представлена рядом устройств, решающих задачи подводного позиционирования для широкого диапазона потребителей: дайверов, промышленных водолазов, водолазов спасателей и поисковиков, подводных телеуправляемых аппаратов (ТНПА), подводных автономных необитаемых аппаратов (АНПА).

Принцип работы системы во многом схож с принципом работы глобальных спутниковых навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС), за тем лишь отличием, что в роли навигационных спутников выступают небольшие автономные буи RedBASE, вместе образующие так называемую длинную навигационную базу. Это инновационная российская технология, не имеющая прямых зарубежных аналогов.

Буи могут быть легко установлены в акватории непосредственно перед использованием навигационных устройств RedWAVE, с любого плавсредства, например, резиновой лодки. И так же легко могут быть собраны по завершении работ. Для обеспечения позиционирования используются четыре навигационных буя.

Технические характеристики:

- определение абсолютного географического положения объекта (широта, долгота, глубина);
 - среднеквадратичная ошибка позиционирования — 0,48м;
 - максимальная дальность действия — до 3км;
 - неограниченное число позиционируемых объектов в акватории;
 - полностью акустически пассивное оборудование на позиционируемом объекте (без каких-либо излучений);
 - автономные буй оснащены GPS/ГЛОНАСС приемниками.
- На рис. 19. представлен водолазный навигатор RedNAV
- портативный индивидуальный навигационный приёмник водолаза. Лёгкий, удобный в использовании интерфейс крепится на запястье водолаза. Масса — 300г.



P

ис. 19. Индивидуальный приёмник водолаза.

Вместо него может подключаться электронный подводный планшет (ЭПВ).



P

ис. 20. Приемник навигационного сигнала RedNODE

Приемник навигационного сигнала RedNODE (рис. 20) предназначен для обеспечения навигационными данными телеуправляемых подводных аппаратов (ТНПА), автономных необитаемых аппаратов (АНПА). Обеспечивает данные о географическом положении, глубине и температуре воды. Данное устройство не имеет прямых аналогов как в РФ, так и за рубежом.

Характеристики:

- диаметр /высота 64 / 62 мм
- масса 260 г.
- максимальная глубина 140 (300) м

Навигационный гидроакустический буй RedBASE (рис. 21)

Технические характеристики:

- высота / диаметр, мм 597/146

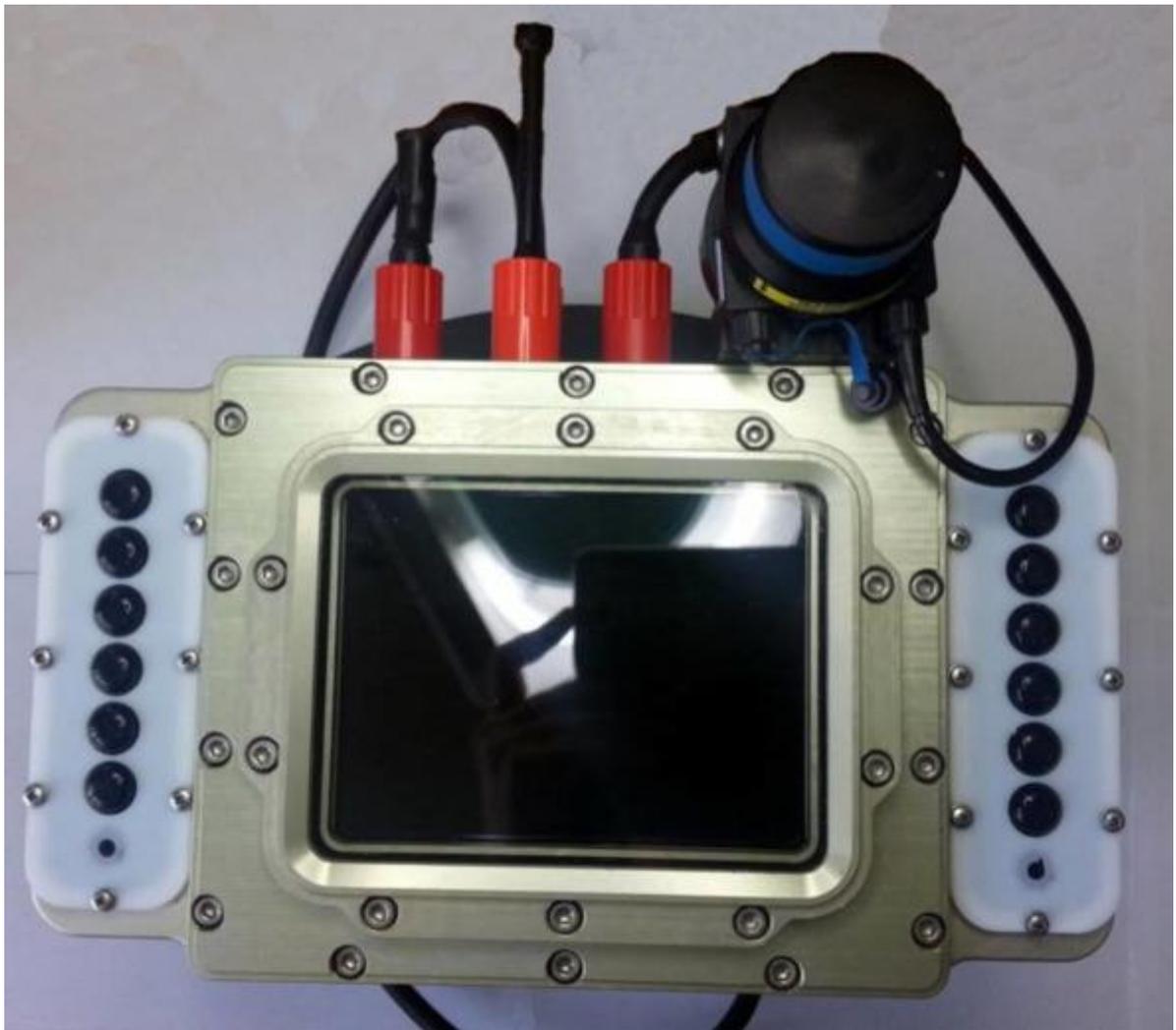
- масса 3,8 кг
- энергетическая дальность акустической связи 3000 м
- время автономной работы — до 24 часов.



P

ис. 21. Навигационный гидроакустический буй RedBASE

2.2.3.4. Несколько иной принцип работы заложен в информационно-измерительном комплексе водолаза (ИКВ) «Нарочь-2», разработанном в ОАО «ЦНИИ «Курс» в 2013г. В нём водолаз имеет небольшой гидроакустический маяк-ответчик и электронный планшет. Обеспечивающий катер осуществляет измерение дистанции и пеленгование маяка, таким образом, он определяет место водолаза. Затем информация о месте передаётся водолазу по гидроакустическому каналу связи на дистанцию до 500м (телеметрия). В результате на электронном планшете водолаза отмечается текущее положение водолаза и весь его маршрут движения. Благодаря принятым оригинальным техническим решениям масса комплекса (вместе со звуковизором) составила около 7 кг. (рис. 22.)



ис. 22. Подводный блок ИКВ. Вид сверху.

На планшет выводится информация от звуковизора и отмечаются все обнаруженные предметы. Одновременно информация записывается в память бортового компьютера.

Ведётся непрерывный контроль за водолазом, путём приёма информации с различных датчиков и сменного оборудования во время погружения. К основным контролируемым параметрам погружения и другой отображаемой информации относятся: текущие курс, глубина, координаты водолаза; давление воздуха (дыхательной смеси) в баллоне; температура воды; время нахождения под водой; частота дыхания и пульс водолаза с сигнализацией о выходе параметров самочувствия из нормы; команды руководителя спусков.

2.2.4. Комплексное решение проблемы счисления и коррекции места

Задача счисления и коррекции места водолаза и ПСД по спутниковым навигационным системам требует периодических подвсплытий, что демаскирует водолаза. Ясно, что чем точнее счисление места, тем меньшее количество подвсплытий необходимо.

В последнее время появились комплексные навигационные приборы, позволяющие существенно повысить точность счисления и снизить количество подвсплытий водолаза и ПСД. Одним из таких приборов является электронная панель водолаза «ДонУ» (рис. 23), разработки ООО «Морские Программные Комплексы и Технологии» (г. Геленджик).

Электронная панель водолаза (далее ЭПВ) предназначена для применения под водой водолазом, либо для установки на буксировщик и выполняет функцию позиционирования водолаза и отображения и записи данных встроенных и дополнительных датчиков и оборудования.

ЭПВ выполнена в герметичном корпусе модульной структуры, обеспечивающем возможность ее применения на глубинах до 60 метров, и имеет конструкцию, удобную для удержания руками, а также специальное крепление для установки на буксировщик.



Рис.

23. Электронная панель водолаза «ДонУ» (общий вид ЭПВ и вид спереди).

К специально предназначенному разьему ЭПВ подключается приемник GPS/ГЛОНАСС буйкового типа (или телескопической штанги) со встроенной антенной. Приемник позволяет принимать координаты текущего местоположения при нахождении антенны в надводном положении. При получении координат текущее местоположение отображается на карте (если

она определена) на экране ЭПВ, а также выводятся координаты в формате ГГММ. ММММ. в одной из двух систем: GPS и СК-42.

ЭПВ питается от встроенной батареи 15В. При включении ЭПВ запускается встроенный компьютер и специальное программное обеспечение, обеспечивающее отображение на экране ЭПВ карты, навигационной обстановки, а также показаний датчиков.

Буйковые антенны GPS и ГЛОНАСС сделаны в одинаковом размере и отличаются только цветом корда. Длина кабеля — 5 метров.

Управление ЭПВ осуществляется с помощью установленных на ней кнопок и инфракрасных датчиков. Технические характеристики ЭПВ «Дон-У» приведены в таблице 4.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Таблица. 4

Встроенный компьютер	Atom 1.6ГГц, 2048 МБ ОЗУ, твердотельный жесткий диск объемом от 128 ГБ
Монитор	6.5"
Операционная система	Debian Linux
Внешние порты	<ul style="list-style-type: none"> • Подключение зарядного устройства и USB. • Подключение антенны GPS/ГЛОНАСС. • Универсальный герморазъем для подключения дополнительного оборудования.
Основные устройства	Электронный компас (курс/крен/дифферент), датчик глубины, датчик внутренней температуры, датчик уровня заряда батареи
Дополнительные устройства	<p>Возможность подключения устройств:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Антенна GPS/Глонасс с кабелем 6 м • Доплеровский лаг NavQuest 600 Micro DVL • Звуковизор BlueView P450 • USB-видеокамера • Альтиметр Trittech PA200 / PA500 • Сигнал на автопилот 5В
Специальные возможности	<ul style="list-style-type: none"> • Регулировка яркости экрана вплоть до полного затемнения • Вибро-сигнал
Источник питания	Встроенная батарея 15В, 6800 мАч
Время работы	Минимум 6 часов от стандартной батареи (возможно увеличение времени работы при установке дополнительной внешней батареи большей емкости)
Размеры	ДхШхВ: 300х200х100мм (могут незначительно отличаться)
Вес на воздухе	4.2 кг
Вес в воде	0.7 кг
Рабочая температура	-5°C +40°C

Все действия оператора (водолаза) производятся через перемещение курсора и нажатия на кнопку выполнения (подтверждения). Перемещение курсора осуществляется с помощью оптических датчиков (или магнитных кнопок) управления «мышью».

Для удобства выбора кнопок в группе курсор перемещается к тем кнопкам в соответствующих группах, которые, на наш взгляд, являются основными.

Глава 3. Средства связи и привода

Гидроакустические средства для водолазов и ПСД начали создаваться в Советском Союзе с 1964 г., когда была открыта ОКР «Нерей» — разработка приводной и пеленгаторной

аппаратуры для водолазов и ПСД. Её выполняло КБ завода «Ахтуба», г. Волгоград. До этого водолазы осуществляли связь между собой с помощью капронового фала, а при плавании на ПСД связь с катером велась с помощью радиостанции Р-352 «Сокол» в герметичном контейнере и с буксируемой на буйке антенной.

3.1. Средства связи и привода первого поколения

Первой станцией гидроакустической (звукоподводной) связи водолазов в СССР стала ГАС МГВ-6В («Угорь-В»), выпущенная заводом «Водтрансприбор» (г. Ленинград) в 1973г. под руководством главного конструктора Таланова Л. П. (рис. 24).



ис. 24. ГАС связи водолаза МГВ-6В («Угорь-В»).

Станция размещалась в дыхательном аппарате водолаза ИДА-71п (в нижней части). Антенна крепилась сверху ИДА, а пульт управления — на груди водолаза. Микрофонно-телефонная гарнитура (МТГ) устанавливалась в шлеме водолаза (в гидрокombineзоне УГК-3М) и входила в гидрокостюм через зажгутованный аппендикс. Для соединения МТГ с пультом использовался двухканальный герметичный индукционный разъем.

Станция имела массу 4,5 кг (вес в воде минус 1,1 кг.), дальность связи в режиме ТЛФ 1 км (рабочая частота 35 — 37,5 кГц, модуляция однополосная, верхняя боковая полоса). Приборный блок имел диаметр 90мм и длину 400мм. Глубина погружения до 40м.

В 1974 г. ГАС МГВ-6В была установлена на двух опытных образцах носителей водолазов «Тритон-2».

Приводная и пеленгаторная аппаратура для водолазов и ПСД, разработки КБ завода «Ахтуба» (главный конструктор Жабин О. Б.) в 1968 г. успешно прошла испытания. Были созданы пеленгатор водолаза — прибор ЛВ и якорный гидроакустический маяк-ответчик — прибор ГМ. Они были приняты на снабжение ВМФ под шифром МГВ-3 (рис. 25).

Пеленгатор работал на частоте 35 кГц, позволял дистанционно включать приводной маяк на дистанции 1 и 4 км., и пеленговать его амплитудным методом с погрешностью +150. Кроме того, была возможность обнаруживать и пеленговать любые гидроакустические сигналы в диапазоне от 3 до 30 кГц.

Масса прибора ЛВ 9 кг (в воде +0,5кг). Масса гидроакустического маяка 40 кг. (вместе с якорем и капроновым фалом). Он мог погружаться на глубину до 40 м и автоматически устанавливаться на глубине 15м.



P

ис. 25. Приводная и пеленгаторная аппаратура для водолазов и ПСД МГВ-3 («Нерей»).
Длина капронового фала якоря позволяла устанавливать маяк при глубине моря до 200м.

В 1976г прибор ЛВ был модернизирован и его масса уменьшилась до 5,5кг., (внешний вид нового прибора ЛВ изображён на рис. 26).



P

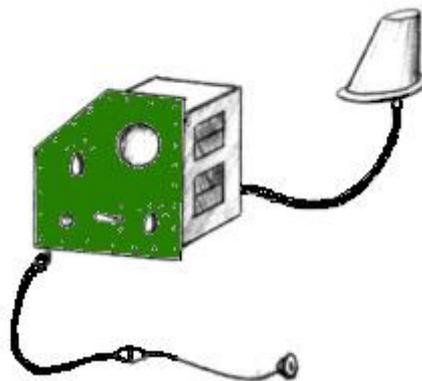
ис. 26. Прибор ЛВ после модернизации.

ТТХ его не изменились. Аппаратура получила наименование МГВ-3М.

Для носителя водолазов «Тритон-2» (рис. 27) был создан бортовой вариант приводной и пеленгаторной аппаратуры «Нерей» под шифром ВГМ-459. Она имела индикатор в виде электронно-лучевой трубки и пеленговала маяк с точностью $+2^0$ за счёт хорошей антенны, состоящей из четырёх звукоизолированных штырей с сектором направленности 90^0 каждый.



ис. 27. Носитель водолазов «Тритон-2».



ис. 28. Внешний вид ГАС ВГМ-459.

В 1978 году аппаратура была принята на снабжение ВМФ под шифром МГВ — 11 (рис. 28).

3.2. Средства связи и привода второго поколения

В 1978 г. Минсудпромом было принято решение о создании нового многофункционального ГАС «Припять» для водолазов и ПСД. ОКР была поручена КБ «Риф» (с 1980 г. — НИИ «Риф»), г. Бельцы, Молдавской ССР. В ТТЗ автором этой книги был предложен знакофазовый метод пеленгования сигналов ГА-маяка с отдельной индикацией на левый и правый телефоны водолаза (маяк справа — работает правый телефон, маяк слева — работает левый телефон, маяк точно по курсу — работают оба телефона водолаза).

В 1982—1983 гг. главным конструктором ГАС Скуратовским А. В. была создана и испытана ГАС связи и привода водолаза, станция «Припять-В1». Испытания проводились в Балаклавской бухте, под Севастополем, и показали хорошие результаты. Водолазы свободно выходили на гидроакустический маяк, ориентируясь по отдельной работе левого и правого телефонов. Оба телефона работали, когда маяк был точно по курсу. Общий вид и состав приборов ГАС «Припять-В1» представлен на рис. 29.

Единственным минусом был большой вес ГАС водолаза в воде (минус 1,5кг). Водолазы снимали почти все груза, чтобы обеспечить нулевую вывеску, а с дополнительным газовым баллончиком просто тонули. Превышение веса было вызвано внезапным запретом Минсудпрома на использование серебряно-цинковых аккумуляторов (в целях удешевления аппаратуры). В результате аккумуляторы СЦС-3 были заменены на КНГ-4, имеющие значительно большие габариты, из-за чего сильно вырос в размерах блок питания.



Р
ис. 29. ГАС водолаза «Припять-В1». Слева — направо: блок питания (крепится на правом боку, на пояском ремне водолаза), микрофонно-телефонная гарнитура (для надводной ГАС командира), пульт управления (крепится слева, на пояском ремне водолаза), основной блок (приор 4, размещается внутри ИДА-71п), гидроакустический фонарик — гидролокатор (размещается на левой руке водолаза), гидроакустические антенны (крепятся на дыхательном аппарате, сверху).

ГАС «Припять-В1» работала на двух частотах, 35 и 200 кГц. На частоте 35кГц дальность связи составляла 1км. и привода — до 2 км; на частоте 200кГц дальность связи составляла 100м, привода — до 200м.

После принятия на снабжение ВМФ комплекс получил наименование МГВ-13В.

В состав ГАК «Припять» входили и два приводных маяка-ответчика — донный, с частотами 35 и 200кГц, (рис. 30) и якорный, с частотой 35кГц и дальностью привода до 4-х км.



Р
ис 30. Донный гидроаку-стический маяк-ответчик «Припять-МК1». Работал на двух частотах 35 и 200кГц. Масса — 2кг.

В целом, знакофазовый метод пеленгования в глубоком море оправдал себя. Однако, в прибрежных районах, в условиях сильных реверберационных помех (донная реверберация от камней, отражения сигнала от пирсов, кораблей внутри ВМБ) фаза сигнала искажалась, и пеленгатор давал ошибки.

И всё же этот метод пеленгования в последствии был заложен и в перспективную ГАС «Припять-Д» (рис. 31) для носителей водолазов «Сирена-К» и «Сирена-М» В 1998г. он успешно прошёл испытания. Индикация осуществлялась на двух светодиодах (левый –зелёный, правый — красный).



ис. 31. Кабина носителя водолазов «Сирена-К» с комплексной ГАС «Припять-Д».

P

3.3. Средства связи и привода третьего поколения

В связи с созданием нового водолазного снаряжения СН-21 (шифр «Фурнитура») в 2006г. встал вопрос о создании новой отечественной станции гидроакустической связи и привода для водолазов ВМФ.

Работа была поручена Научно-исследовательской лаборатории морских электронных систем при СПбГМТУ, возглавляемой А. Е. Куцко. В результате в 2009г. была создана СГС «Фурнитура-ГМТУ», (водолазная и катерная станция) входящая в комплект водолазного снаряжения СН-21. Состав приборов, входящих в комплект водолазной СГС-В представлен на рис. 32 и 33. В ТТЗ были заданы не только режимы связи в широкой сетке частот, но и режимы пеленгования водолаза (его маяка) и выхода на него при подаче сигналов бедствия. Такое в практике создания гидроакустических средств для водолазов было впервые.



ис. 32. Аппаратная часть СГС-В «Фурнитура-ГМТУ», размещённая на водолазе.

Р



ис. 33. Антенны СГС-В «Фурнитура-ГМТУ», размещённые на баллонах ВВД.

Р

При использовании в группе, каждый водолаз имел свою частоту аварийного сигнала. Всё это привело к сложности управления станцией. Выбор необходимых режимов работы СГС-В производился поочерёдным нажатием пальцами водолаза на сенсорные датчики на левой руке согласно таблице (типа азбуки Морзе), которую водолаз должен был запомнить. Таблица содержала около 30-ти команд, и их запоминание оказалось невозможным.

Выбранный в станции СГС-В корреляционный метод пеленгования шумоподобных сигналов гидроакустического маяка водолаза оказался не совсем удачным из-за многучёвости и неоднозначности пеленга, который к тому же был отклонён вправо на 90° от курса водолаза.

В результате, после межведомственных испытаний станции СГС-В на флоте (которые прошли со скрипом), технический директор Автономной некоммерческой организации (АНО) «РТГ» (Реализация технических гипотез) Павлов Г. Г. решил строить свою станцию связи и пеленгования (СГСП) «Пловец», изменив метод пеленгования на ранее неизвестный — амплитудно-селективный (по равносигнальной зоне), предложенный автором этой книги. Суть метода изложена в приложении 2.

В 2011г. СГСП «Пловец» успешно прошла МВИ на базе 40 ГНИИ МО РФ. В акте МВИ записано о целесообразности принятия СГСП «Пловец» на снабжение ВМФ.

Станция получилась значительно проще и легче по сравнению с СГС-В (которая потом многократно модернизировалась). Управление ею оказалось не сложнее, чем обычной ГАС звукоподводной связи МГВ-6В. Режим пеленгования осуществлялся на левый и правый телефоны водолаза (как и в ГАС «Припять-В1»), при этом можно было пеленговать любые сигналы, попадающие в полосу пропускания ГАС (речь водолаза, телеграфные сигналы, сигналы ГА-маяка, шумы проходящих катеров, сигналы гидролокаторов). Сравнительные ТТХ СГС «Фурнитура — ГМТУ» и «Пловец-В» приведены в табл. 5.

Таблица 5.

ТТХ	СГС-В2М «Фурнитура»	СГСП «Пловец-В»
Максимальная рабочая глубина	40 метров	200 метров
Способ связи	Голосовые сообщения, телеграф	Голосовые сообщения, телеграф
Рабочий диапазон частот	25 – 38 КГц	25 – 38 КГц 8 – 11 КГц
Частоты каналов связи	38000 Гц НБП 32768 Гц ВБП 32768 Гц НБП 31250 Гц ВБП 31250 Гц НБП 28500 Гц ВБП 28500 Гц НБП 25000 Гц ВБП 25000 Гц НБП	38000 Гц ВБП 38000 Гц НБП 32768 Гц ВБП 32768 Гц НБП 25000 Гц ВБП 25000 Гц НБП 8000 Гц ВБП 11000 Гц НБП
Электрическая чувствительность приемного канала	- 90 дБ	-110 дБ
Уровень подавления боковой полосы.	30 дБ	35 дБ
Ширина полосы телефонного канала	350 – 3500 Гц	350 – 3000 Гц
Динамический диапазон приемного канала	55 дБ (необходимо переключать мощность)	120 дБ (сигнал без искажений на близком и большом расстоянии)
Типы пеленгуемых сигналов	тональные (маяк)	Речевые (ЗПС), импульсные (гидролокатор),

ТТХ	СГС-В2М «Фурнитура»	СГСП «Пловец-В»
		тональные (маяк), шумовые (катер).
Число приемных каналов	2	2
Антенна	Антенная база из двух пьезоэлектричес ких преобразователе й установленных на дыхательном аппарате.	Антенная база из двух пьезоэлектрически х преобразователей установленных на ремнях маски (шлема).
Пеленгатор	Пеленгация осуществляется при переключении в соответствующи е режимы работы.	Пеленгация осуществляется постоянно в режиме приема.
Встроенный маяк	Встроенные режимы широкополосног о и импульсного маяков.	Встроенный режим тонально- импульсного маяка.
Помехоустойчивос ть к реверберационны м помехам	низкая	высокая
Аудио интерфейс	Гермогарнитура для полнолицевой маски ПМ-21.	Гермогарнитура комплекта СВУ-3, и для полнолицевой маски ПМ-21.

ТТХ	СГС-В2М «Фурнитура»	СГСП «Пловец-В»
Типы водолазных снаряжений	СН-21, снаряжения с полнолицевой маской	СЛВИ-71, СВУ-3, СВУ-5, СН-21, все снаряжения с полнолицевой маской
Управление режимами «прием-передача»	Наручный пульт управления с двумя сенсорами.	Кнопка «Телефон» на МТГ водолаза Кнопка «Телеграф» на МТГ водолаза.
Питание	NiMg аккумуляторная батарея 12В, 1.5Ач.	Li-ионная аккумуляторная батарея 12В, 1.7Ач.
Энергоресурс	4,5 часа непрерывной работы при соотношении передача/прием 1:5	20 часов непрерывной работы при соотношении передача/прием 1:5
Контроль состояния батареи	Голосовое сообщение «Разряд батареи».	Звуковой сигнал с периодом 1 минута
Внешний контроль напряжения батареи и номера рабочего канала	Контроль батареи производится при помощи штатного измерительного прибора. Номер рабочего канала устанавливается	Герморазъём МТГ для установки номера рабочего канала и контроля состояния батареи при помощи ГАС «Пловец-К».

ТТХ	СГС-В2М «Фурнитура»	СГСП «Пловец-В»
	с пульта управления станцией.	
Диапазон рабочих температур	От -2 С ⁰ до +30 С ⁰	От -2 С ⁰ до +50 С ⁰
Корпус	Герметичный корпус из литого алюминия с эпоксидным покрытием, 155x90x60 мм.	Герметичный корпус из литого алюминия с эпоксидным покрытием, 150x62x70 мм.
Крепление на водолазном комплекте	Набедренный карман в снаряжении СН- 21	Крепление с поясным ремнем в любом месте
Вес всего комплекта с антеннами, МТГ и разъёмами	1,5кг	0,8 кг

Из таблицы видно, что станция СГСП «Пловец-В» обладает рядом преимуществ перед станцией СГС-В2М (модернизированной), а именно:

- не требует переключения в режим связи или пеленгования (постоянно поддерживает оба режима);

- пеленгует импульсные, тональные, речевые и шумовые виды гидроакустических сигналов, попадающих в полосу пропускания приемного тракта. Это позволяет выходить водолазу на водолаза, водолазу на обеспечивающий катер, а также на гидроакустический маяк, обозначающий затонувшие предметы и забазированные на грунте ПСД;

- устойчива к различным видам реверберационных помех (донная, поверхностная и объемная реверберация);

- обеспечивает качественную связь на дистанциях от 1 м до предельной (1500 м) за счет большого динамического диапазона (сохраняется высокая разборчивость);

- более экономична и обеспечивает 20 часов непрерывной работы при соотношении прием к передаче 5:1.

Внешний вид и состав приборов станции приведен на рис. 34, 35, 36.

Кроме того, СГСП «Пловец-В»:

- позволяет работать в любых типах водолазного снаряжения (СЛВИ-71, СВУ-3, СН-21, иностранные образцы снаряжения с полнолицевой маской);

- эргономична и проста в управлении;

- гарнитура, входящая в состав предлагаемой станции, позволяет подключаться по кабелю к станции «Пловец-К» с целью обеспечения двусторонней проводной телефонной

связи водолаза с командиром спуска, что позволяет работать с тяжёлым водолазом в шланговом снаряжении на глубине до 200м.

— станция может работать в режиме подачи аварийного акустического сигнала тревоги (при этом мигает мощный светодиод на правой антенне), если водолаз нуждается в помощи (трёхкратное и более раз нажатие на кнопку «приём-передача»);

— станция может работать в режиме автоматического контроля самочувствия водолаза с подачей сигнала тревоги, если водолаз не реагирует на запросный сигнал о самочувствии, который подаётся в правый телефон водолаза автоматически с интервалом в три минуты (водолаз отключает запросный сигнал путём нажатия на кнопку «приём-передача»);



Рис. 34. Вид основного приборного блока станции «Пловец-В» с герморазъёмами.



P

ис. 35. Вид антенной базы и кнопок управления станцией.



P

ис. 36. Гарнитура для полнолицевой маски ПМ-21, и АГА.

— станция может включать приводные гидроакустические маяки-ответчики путём длительного (более 2-х сек) нажатия на кнопку «Телеграф»;

— может связываться с экипажем аварийной ПЛ, лежащей на грунте, на частоте ВМФ и НАТО.

Таким образом, впервые в отечественных ГАС связи и привода стало возможным:

— пеленгование речевых сигналов водолаза и выход на них;

— пеленгование сигналов гидролокатора и обход его на необходимом удалении;

— автоматический контроль самочувствия водолаза с подачей акустического и светового сигналов бедствия;

— связь с экипажем аварийной ПЛ в период проведения аварийно-спасательных работ.

За рубежом подобные станции отсутствуют.

3.4. Перспективы развития средств связи и привода

3.4.1. В перспективе, целесообразно совместить функции подводной и надводной связи, привода и навигации водолаза в одном приборе на элементной базе смартфона и СГСП «Пловец-В».

На дисплее прибора водолаза (который крепится ремешками на левой руке) крупными цифрами на тёмном фоне постоянно должна отображаться следующая информация:

— заданный курс;

— истинный курс;

— заданная глубина;

— истинная глубина;

— текущее время;

— время, проведённое под водой;

— температура воды.

На дисплей оператором также могут вызываться:

— карта района с прокладкой пути;

— место водолаза на карте;

— координаты места водолаза;

— координаты конечной точки;

— курс на конечную точку.

Однако постоянно смотреть на дисплей, закрепленный на левой руке, водолазу в процессе плавания затруднительно. Ему нужно управлять курсом и глубиной с помощью обеих рук и ног при плавании на ластах или на буксировщике.

Устанавливать заданный курс и глубину он должен вначале плавания или при переходе на новый курс или глубину в заданной точке. После чего на дисплей он не смотрит.

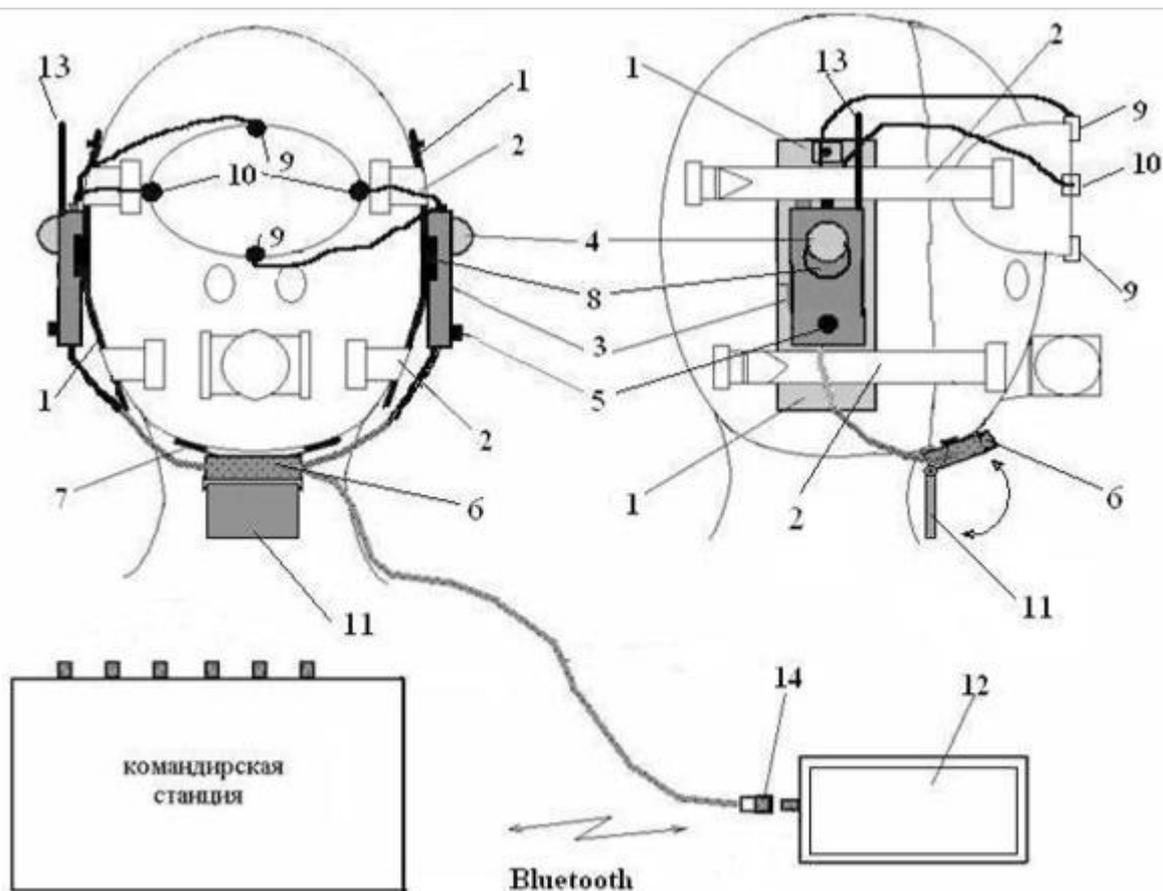
Отклонения от заданного курса или глубины ему должны сообщаться станцией автоматически по звуковому или зрительному каналу.

Предпочтительней зрительный канал индикации на светодиодах, поскольку звуковой канал может быть занят переговорами внутри группы и с обеспечивающим катером, контролем самочувствия, сообщениями голосового меню.

Для световой индикации отклонения по курсу целесообразно два жёлтых светодиода расположить слева и справа на маске. При небольшом отклонении от курса — диод светит слабо, при значительном — сильно и мигает.

Для световой индикации отклонения по глубине у стекла маски по центру следует разместить два светодиода, нижний и верхний, зелёного и красного цветов. При отклонении вниз, зажигается красный светодиод, при отклонении вверх — зелёный. Интенсивность свечения должна зависеть от величины отклонения.

Возможный вариант состава и размещения приборов станции СГСП «Пловец-В2» изображён на рис. 37.



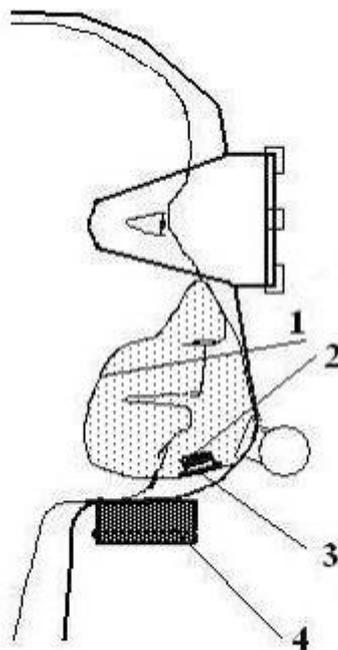
P

ис. 37. Возможный состав и размещение приборов станции СГСП «Пловец-В2». Цифрами на рисунке обозначены: 1 — резиновая пластина, закрепляемая под ремни шлем-маски; 2 — ремни шлем-маски; 3 — блок антенно-телефонной гарнитуры; 4 — гидроакустическая антенна; 5 — кнопка управления; 6 — блок питания; 7 — текстильные застёжки — липучки для крепления блока питания; 8 — телефоны; 9 — светодиоды для индикации отклонения по глубине; 10 — светодиоды для индикации отклонения по курсу; 11 — откидная компасная плата (ЦМК); 12 — прибор водолаза с дисплеем; 13 — антенна надводной связи по Wi-Fi; 14 — герметичный контактный разъём (подключается только на воздухе).

Светодиоды на маске можно крепить с помощью текстильной липучки, приклеенной резиновым клеем к маске и к светодиодной пластинке. Возможно закрепление светодиодов и на блоках антенно-телефонной гарнитуры с помощью гибких металлических трубок.

В качестве микрофона целесообразно использовать «жучёк», применяемый для подслушивания и передачи информации с помощью микропередатчика в СВЧ-диапазоне. «Жучёк» может быть закреплён в обтюраторе маски с помощью текстильной липучки, (или двусторонней липкой ленты, скотча) в нужном месте (рис. 38) или внутри шлема, если снаряжение с загубником.

Приём радиосигнала осуществляется в блоке питания. Там он усиливается, детектируется и поступает в прибор водолаза (на балансный модулятор) для формирования однополосного гидроакустического сигнала.



P

ис. 38. Размещение микрофона («жучка») в обтюраторе шлема.
 Цифрами на рисунке обозначены: 1 — обтюратор; 2 — «жучёк»; 3 — текстильная застёжка типа липучка; 4 — блок питания с откидной компасной платой.

Радиосигнал от «жучка» идёт по воздуху и по резине, что не вызывает существенного его затухания. Корпус блока питания можно сделать тонким, пластмассовым (радиопрозрачным), залить его глицерином или маслом и разместить в нём погружные литий-йонные аккумуляторы. Таким образом, можно избежать необходимости ввода проводов в шлем водолаза для подключения микрофона.

К блоку питания шарнирно крепится цифровая компасная плата (ЦМК). Она должна располагаться горизонтально и строго по оси движения водолаза (руки здесь не подходят). Литий-йонные аккумуляторы необходимо соединить по бифилярной схеме, чтобы поле токов не влияло на ЦМК.

Телефонные капсюли должны располагаться снаружи маски и работать достаточно громко в воде. Если под маской толстый неопрен, то в нём необходимо сделать отверстия, и заклеить их тонкой резиной.

В блоках антенно-телефонной гарнитуры производится:

- усиление мощности выходного сигнала поступающего в акустические антенны в режиме передачи;
- усиление входного сигнала в режиме приёма;
- усиление сигнала, поступающего в телефоны водолаза;
- включение станции в режим передачи с помощью правой кнопки;
- включение станции в режим подачи аварийного сигнала при трёхкратном нажатии на правую кнопку;
- отключение сигнала запроса самочувствия при нажатии на правую кнопку;
- подача телеграфных сигналов при нажатии на левую кнопку;
- включение гидроакустического маяка при длительном (более 2-х сек.) нажатии на левую кнопку.

Каждая кнопка включается путём нажатия плечом водолаза при наклоне головы (если руки заняты). При нажатии на кнопку включается микровыключатель (герконы применять нельзя из-за влияния их магнитов на плату ЦМК). Корпуса блоков антенно-телефонной гарнитуры можно сделать тонкими (немагнитными) и залить их глицерином или маслом.

Прибор водолаза с дисплеем, помещённый в прочный герметичный корпус со смотровым стеклом должен содержать следующие интегральные платы:

- плата Wi-Fi связи и GPS/ГЛОНАСС;
- плата глубиномера, термометра и часов;
- компьютерная плата с флэш-памятью;
- плата формирования сетки частот и однополосного сигнала;
- плата двух приёмных каналов ЗПС.

Дополнительно (по спецзаказу) может размещаться плата скрытной гидроакустической и радио связи и плата гидролокатора (ГА-фонарика).

Следует отметить, что станция СГСП «Пловец-В2» может применяться и на берегу для навигации и связи внутри группы. Для этого достаточно обеспечить закрепление антенно-телефонной гарнитуры на голове оператора с помощью оголовья или шапочки (шлема).

Остаётся решить вопросы управления станцией СГСП «Пловец-В2».

Толстое смотровое стекло не позволит водолазу воспользоваться сенсорным экраном дисплея. Чисто кнопочное управление невозможно из-за большого количества команд.

Возможно управление с помощью подводного трекбола (мышки) и кнопки «Enter» на левой руке, но это довольно сложно под водой, если не прерывать движения.

Возможно применение **светового меню**, когда отдельные опции высвечиваются поочерёдно на дисплее компьютером станции с интервалом в 1с. При подсветке нужной опции водолаз нажимает кнопку «Enter» и опция исполняется. Но это потребует чтения многочисленных каталогов с меню и опциями, что под водой затруднительно и отвлекает водолаза от движения. Водолаз должен будет останавливаться, и работать с компьютером. Поэтому наиболее целесообразно управление с помощью **голосовых команд**.

3.4.3. Данный вид управления уже пытались исполнить в станции СГС-В4 с лаборатории СПбГМТУ, однако результаты оказались более чем скромными. Компьютерная программа распознавала от 20 до 40% команд у разных водолазов.

А дело всё в том, что речь водолаза сопровождается шумами от движения воздуха через обтюратор маски, шелканьем клапанов вдоха и выдоха в клапанной коробке, шумами акваланга, искажениями от воздействия глубины. И вообще, водолазы часто имеют дефекты дикции — не чётко выговаривают отдельные слова и буквы, проглатывают окончания. Особенно сильно это проявляется на больших глубинах, когда водолазы дышат гелиево-кислородными смесями. А если применяется снаряжение с загубником, то процент распознавания команд равен нулю.

3.4.2. Для более надёжного голосового управления станцией автор книги предлагает **голосовое меню**.

Режим голосового меню включается путём нажатия водолазом кнопки «Enter» на левой руке. После этого голосом диктора в телефоны водолаза подаются следующие, заранее записанные в память компьютера, голосовые КОМАНДЫ:

- Выбор параметров движения;
- Выбор карты района;
- Выбор параметров станции;
- Повторить.

При поступлении нужной команды в телефон водолаза, он нажимает кнопку «Enter» и команда исполняется. После этого режим голосового меню автоматически отключается или включается следующее за выбранным очередное голосовое меню. Например, если выбран пункт 1, то далее читается меню выбора параметров движения:

- Настройка курса; глубины; канала связи;
- Включить (выключить) надводную Wi-Fi связь;
- Включить (выключить) GPS, ГЛОНАСС;
- Включить (выключить) приводной маяк;
- Включить (выключить) контроль самочувствия водолаза;

— Повторить.

Команды «включить» или «выключить» изменяются автоматически, в зависимости от текущего состояния того или иного режима работы. Если данный режим включён, то подаётся команда «выключить» и наоборот.

Все карты, прокладка пути, координаты точек вводятся в СГСП-В2 водолаза перед использованием с помощью СГСП командира «Пловец-К2» по каналу Bluetooth.

При выборе команды 1 (настройке нового курса, глубины, канала связи), включается следующее голосовое меню:

1. Выбор курса.
2. Выбор глубины.
3. Выбор канала связи.

На нужном пункте водолаз нажимает «Enter».

При выборе курса следует чтение цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Водолаз нажимает кнопку «Enter» на нужной цифре. На экране дисплея отображается цифра курса в третьем порядке. Затем читаются цифры второго порядка, потом первого. (Например: курс 024). Это значит, что новый курс 24⁰.

При выборе глубины читаются два порядка цифр (от 00 до 99). При выборе канала связи — один порядок цифр (от 0 до 9).

Так с помощью голосового меню можно настроить любые параметры СГСП-В2 (громкость, мощность, контроль самочувствия, подавление шумов и т.д.). Однако это займёт некоторое время и при движении в группе, оно может оказаться значительным, поскольку не все водолазы быстро и без ошибок смогут перестроиться на нужный режим плавания. Поэтому стоит вернуться к первому варианту голосового управления станцией — **голосовых команды** для этого решить вопрос разборчивости речи (команд) водолаза.

3.4.4. По мнению автора, голосовое управление с помощью команд можно значительно улучшить, если создать программу-переводчик нечётких команд водолаза (в загубнике и без) на разных глубинах в чёткие звуковые команды диктора, заранее записанные в память компьютера. Для этого каждую станцию «Пловец-В2» следует **обучить персонально под каждого водолаза**. После этого станция будет воспринимать только его речь в заданном снаряжении и на заданных глубинах. Количество переводимых (используемых водолазом) слов должно быть ограничено несколькими десятками, иначе процесс обучения станции затянется.

При обучении водолаз одевает снаряжение, спускается под воду и начинает читать слова по списку. Каждое слово повторяет три раза. Потом нажимает кнопку «Enter».

Те же слова, прочитанные диктором, заранее внесены в память компьютера (в звуковые файлы), в том же порядке, что и в списке. Компьютер запоминает спектр произнесённого водолазом слова и соотносит его с записанным. После этого он озвучивает эту команду или слово, произнесённое диктором. Водолаз нажимает кнопку «Enter» и переходит к следующему слову. Так записываются все слова списка в разных снаряжениях и на разных глубинах. На этом обучение СГСП заканчивается.

При рабочем использовании СГСП «Пловец-В2», задаётся тип снаряжения и глубина. Водолаз диктует команду, компьютер сравнивает её слова с ранее записанными словами его голосом (для этого снаряжения и этой глубины), и определяет коэффициент корреляции. Выбираются слова с наибольшим коэффициентом (но не ниже 0,8) и повторяется команда голосом диктора. Если команда понята правильно, водолаз нажимает «Enter» и команда исполняется.

Чтобы включить режим голосового управления (программу-переводчик) достаточно нажать кнопку «Enter», затем произнести слово «**Команда**». Это ключевое слово для приёма любой команды голосового управления (компьютер отвечает коротким писком). Далее идёт, например, фраза: «*Дальность связи 100 метров*» — сама команда. Затем слово «**Исполнить**».

Компьютер снижает мощность сигнала для уменьшения дальности связи. После чего в телефонах водолаза раздаётся короткий звуковой сигнал (что означает — команда исполнена), или три коротких сигнала означающие, что команда не понята (не исполнена).

3.4.5. Программа-переводчик позволяет осуществлять телеуправление другими станциями при движении водолазов в группе (где каждый водолаз имеет свой номер).

Для этого старший группы включает программу-переводчик (нажимает кнопку «Enter»), затем нажимает кнопку «Передача» и диктует: «**Команда. Всем, всем. Курс два, пять, три. Исполнить**». Поскольку в воду излучается неискажённый голос диктора (все водолазы слышат его), их компьютеры распознают команду и исполняют.

Можно дать индивидуальную команду для каждого водолаза в группе. Для этого старший группы включает программу-переводчик (нажимает кнопку «Enter»), затем нажимает кнопку «Передача» и диктует: «**Команда. Шестой, шестой. Дайте дистанцию. Исполнить**».

После этого станция старшего группы излучает короткий импульс и ждёт ответного сигнала от станции шестого. Получив его, определяет дистанцию и отображает её на дисплее.

Пеленг на любого водолаза определяется по равносигнальной зоне (работают левый и правый телефоны водолаза). Перед этим водолаз нажимает кнопку «Enter», затем нажимает кнопку «Передача» и диктует: «**Команда. Пятый, пятый. Дайте привод. Исполнить**».

Получив такой сигнал, станция пятого на 20 сек. включает режим приводного тонального маяка, и другие водолазы могут его запеленговать.

В таком варианте распознавания голоса можно говорить с большими искажениями (хоть на иностранном языке), но, главное, каждый раз одинаково и программа-переводчик будет безошибочно выдавать нужные команды управления станцией.

Программу — переводчик можно использовать и при глубоководных погружениях водолазов. Существующие корректоры речи улучшают разборчивость, но недостаточно, поскольку в гелиевой среде отдельные форманты речи водолаза просто отсутствуют.

3.4.6. Режим скрытной связи может быть полезен военным водолазам. Нужна скрытная, как радио (надводная — Wi-Fi), так и гидроакустическая (звукоподводная) связь.

Суть скрытной связи заключается в том, что излучается широкополосный шумоподобный сигнал, который трудно обнаружить обычными приёмниками радио или гидроакустической связи. Ещё труднее обнаружить передаваемую в нём информацию.

Автором книги (в 1960 — 1963 гг. — инженером кафедры радиоприёмных устройств Высшего Военно-морского училища радиоэлектроники им. А. С. Попова), под руководством старшего преподавателя кафедры, кап. 2 ранга Ковалёва Н.И в 1962г., была изготовлена аппаратура (приёмное и передающее устройства), которая позволяла демонстрировать скрытную радиосвязь в КВ-диапазоне.

Подробно система устройств скрытной радиосвязи изложена в приложении 3.

Кратко суть созданной во ВВМУРЭ им. А. С. Попова радиолинии состоит в том, что передатчик формирует двухполосный шумоподобный радиосигнал с подавленной несущей. При этом несущая частота предварительно была модулирована в телефонном или телеграфном режиме по частоте частотным модулятором.

В приёмнике широкополосный сигнал усиливался (использовалось несколько приёмных каналов, чтобы охватить весь диапазон) и детектировался амплитудным детектором без восстановления несущей. При этом возникала частота с удвоенной несущей, модулированная речевым или тональным сигналом. Эта частота выделялась колебательным контуром и опять детектировалась частотным детектором. В результате, на выходе усилителя низкой частоты появлялся телефонный или телеграфный сигнал, который и принимал оператор.

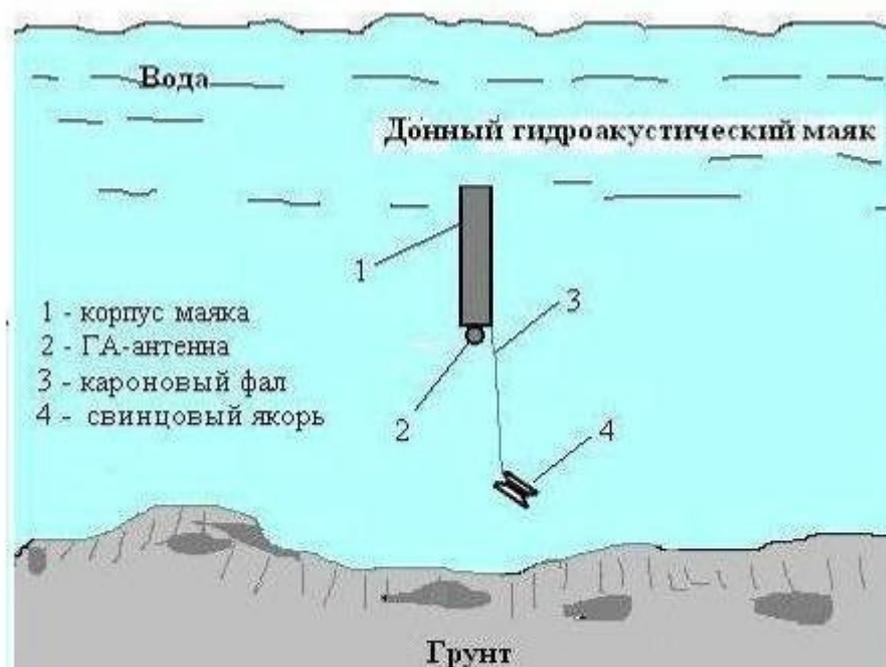
Указанная радиолиния скрытной радиосвязи демонстрировалась в 34 НИИ (НИИ связи ВМФ) в присутствии начальника связи ВМФ, вице-адмирала Толстолицкого Г. Г. и его штаба. Докладывал кап. 2 ранга Ковалёв Н. И., а автор книги демонстрировал работу

изготовленной им аппаратуры. Специалисты 34 НИИ пытались обнаружить работу радиолинии на заявленной частоте и перехватить информацию, но это им не удалось.

В радиолинии Wi-Fi режим скрытной радиосвязи создать не сложно, а в гидроакустической аппаратуре для частотной модуляции нужны высокие частоты (200 — 250 кГц.) на которых дальность связи составит не более 100м, а привода — до 200м.

И всё же внутри группы водолазов это вполне приемлемо, поскольку дистанция между водолазами в группе составляет единицы и десятки метров.

В донном (придонном) гидроакустическом маяке-ответчике также целесообразно сформировать шумоподобный широкополосный тональный сигнал с подавленной несущей. Возможная конструкция маяка представлена на рис. 39.



P

ис. 39. Донный (придонный) гидроакустический маяк-ответчик.

Следует обратить внимание на конструкцию якоря, который автоматически устанавливает маяк на заданной глубине. Ложась на грунт, он не даёт возможность сматываться кароновому фалу.

В СГСП «Пловец-В2» для создания режима скрытной радио и гидроакустической связи потребуется специальная плата в приборе водолаза 12 (рис. 37) в которой часть узлов формирования и приёма сигналов могут быть общими.

Глава 4. Средства подводного поиска

К средствам подводного поиска относятся:

- гидролокаторы кругового и секторного обзора;
- гидролокаторы бокового обзора;
- многолучевые эхолоты;
- подводные звуковизоры.

4.1. Средства подводного поиска первого поколения

С 1972 г. началось проектирование гидролокатора для водолаза «Искатель» по ТЗ 14 и 40 НИИ МО. Разработку вёл ЦНИИ «Морфизприбор» (главный конструктор Клюев Н. А.). Гидролокатор имел два приёмных канала с шириной диаграммы направленности по 8° в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В горизонтальной плоскости общая ширина диаграммы направленности составляла 16° . Рабочая частота

ГЛС — 180 кГц, дальность действия по $R_{\Sigma} = 0,2\text{ м} — 100\text{ м}$, индикатор — ЭЛТ, масса прибора 16 кг.

В 1975 году гидролокатор был принят на снабжение ВМФ под шифром МГВ-9 (рис. 40). Он предназначался для использования водолазом вплавь и для установки на всех типах буксировщиков водолазов («Протей-5МУ», «Протон»). В том же году он был установлен на НВ «Тритон-2» в качестве индикатора препятствий по курсу.

На испытаниях гидролокатор показал высокие возможности по обнаружению предметов, лежащих на грунте. Так, в районе г. Очаков, на Тендровской косе он обнаруживал НВ «Сирена-У», лежащий на грунте, на глубине 10 м, на дистанции 130 м, а старое дырявое ведро на расстоянии 90 м. Из-за узкой диаграммы направленности в вертикальной плоскости никаких реверберационных помех от поверхности и дна моря не было. Поверхностная реверберация появлялась лишь при дифференте ИБВ на корму или из-за рысканья по глубине.



P

ис. 40. Первый гидролокатор водолаза МГВ-9 («Искатель»).

На гидролокаторе был установлен авиационный магнитный компас КИ-13 (с картушкой). Он позволял пеленговать обнаруженные предметы. Пеленг определялся тогда, когда подводный объект находился точно посередине индикатора (в равносигнальной зоне). Погрешность пеленгования составляла $2 — 3^{\circ}$. Кроме того, он выполнял функции искусственного горизонта.

4.2. Средства подводного поиска

второго поколения

В 1978 г. началось проектирование ГАК «Припять» для водолазов и ПСД. ОКР была поручена КБ «Риф» (с 1980 г. — НИИ «Риф»), г. Бельцы, Молдавия (главный инженер, в последствии директор НИИ, Богорад В.И, главный конструктор Скуратовский А. В.). В составе ГАК был создан гидролокатор для водолаза и буксировщиков «Припять-В2» (рис. 41).



P

ис 41. Гидролокатор «Припять-В2».

Он имел следующие ТТХ:

- дальность эхолокации ($R_{\text{э}} = 2\text{м}$) 250 м;
- дальность привода на маяк до 4 км;
- точность пеленгования ± 30 ;
- измерение глубины под килём до 200 м — массу 20 кг.

Гидролокатор имел пять приёмных каналов с шириной диаграммы по 5° каждый.

В 1985 г. станция была принята на снабжение ВМФ под шифром МГВ-13Б. В дальнейшем к гидролокатору был добавлен щиток с компасом «Нева» (КМ-48п), часами «Восток-амфибия» и глубиномером Г-5.

В ГАС «Припять» был создан ещё один гидролокатор водолаза — гидроакустический фонарик. Он входил в состав ГАС «Припять-В1» (рис. 29 и 42). Это был миниатюрный гидролокатор, который работал на частоте 250 кГц и имел диаграмму направленности 10° . Принцип его работы состоял в том, что отражённый от предмета сигнал запускал очередной зондирующий импульс. Чем ближе предмет, тем чаще зондирующие импульсы, которые слышал водолаз. На близких дистанциях их частота доходила до 2 кГц, на больших дальностях — 16 — 20 Гц. Если предметов не было, то сигналы посылались с частотой 1 Гц.



P

ис. 42. Водолаз в снаряжении СЛВИ с ГАС «Припять-В1».

Цифрами на рис. обозначены:

1 — гидроакустическим фонарик;

2 — пульт управления станцией.

Фонарик обнаруживал все предметы вокруг водолаза в радиусе до 30м. Дистанция определялась по тону сигнала (близко — высокий тон, далеко — низкий тон). Водолазы легко находили друг друга, мерили расстояние до грунта и до поверхности, обнаруживали якорьцепи, корабли, причалы и боносетевые заграждения. В Балаклаве они прикрепили резиновыми жгутами фонарик к автомату АПС и стреляли под водой по мишеням в темноте весьма успешно.

Целесообразно в перспективную станцию СГСП «Пловец-В2» добавить гидроакустический фонарик (его блок-схема приведена на рис. 43), и разместить его

в приборе 12 (рис. 37). В передней стенке прибора необходимо смонтировать плоскую дисковую антенну с диаграммой направленности 10° .



P

ис. 43. Блок-схема гидроакустического фонарика водолаза.

Цифрами на рисунке обозначены:

1 — задающий генератор зондирующих импульсов (пер. 1 сек)

2 — ждущий мультивибратор ($f_u 1 — 2000$ Гц)

3 — генератор несущей ($F_u 250 — 300$ кГц)

4 — усилитель мощности

5 — направленная приёмо-передающая антенна (луч $10 — 15$ град)

6 — усилитель высокой частоты

7 — усилитель-ограничитель

8 — детектор импульсов

9 — усилитель низкой частоты

10 — телефонный капсюль водолаза

11 — общий блок питания

12 — ёмкостной накопитель (уменьшает мощность излучения при увеличении частоты импульсов).

4.3. Средства подводного поиска

третьего поколения

4.3.1. Как видно из характеристик гидролокатора МГВ-13Б (стр. 78), он имел весьма узкий сектор обзора (30°), малое количество лепестков диаграммы направленности (5) и значительные габариты.

Предлагаю свой вариант гидролокатора водолаза, работающий на принципах нелинейной (параметрической) гидроакустики и линейночастотномодулированных (ЛЧМ) сигналов, и имеющий значительно лучшие характеристики. Принцип работы гидролокатора и его блок-схема приведены в приложении 4.

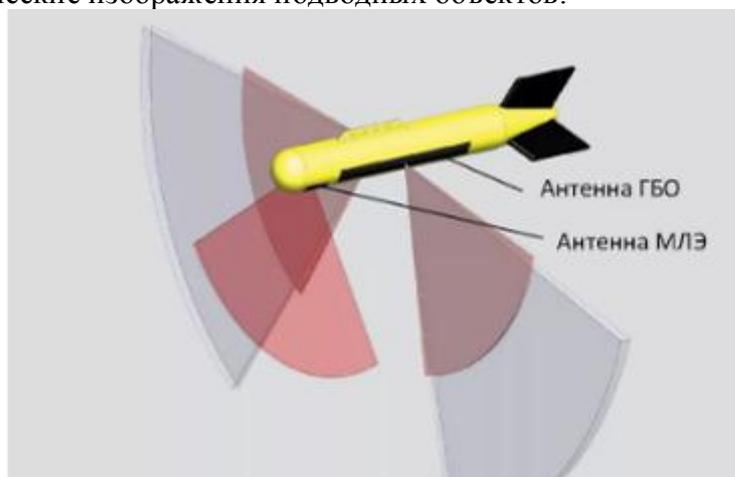
Предложенный гидролокатор позволяет получить высокую разрешающую способность по углу и дистанции, при высокой скорости обзора пространства и малых габаритах.

4.3.2. Ещё один вариант разработанного и предлагаемого мною водолазного гидролокатора основан на оптимальной обработке импульсных сигналов Шермана. Он позволяет, при малых мощностях излучения, увеличить соотношение сигнал/помеха в 7 и более раз за счёт сжатия импульсного кода из трёх и четырёх импульсных последовательностей, излучаемых на различных частотах. Принцип работы гидролокатора и его блок-схема приведены в приложении 5.

4.3.3. В 2000-х годах широкое распространение за рубежом получили гидролокаторы бокового обзора (ГБО) и многолучевые эхолоты (МЛЭ). Они использовались как

профилографы, и как средства поиска затонувших объектов. Принцип работы приборов представлен на рис. 44.

Это гидроакустические приборы, работающие на высоких частотах и имеющие высокую разрешающую способность по дальности и углу места. За счёт этих качеств они позволяют формировать акустические изображения подводных объектов.



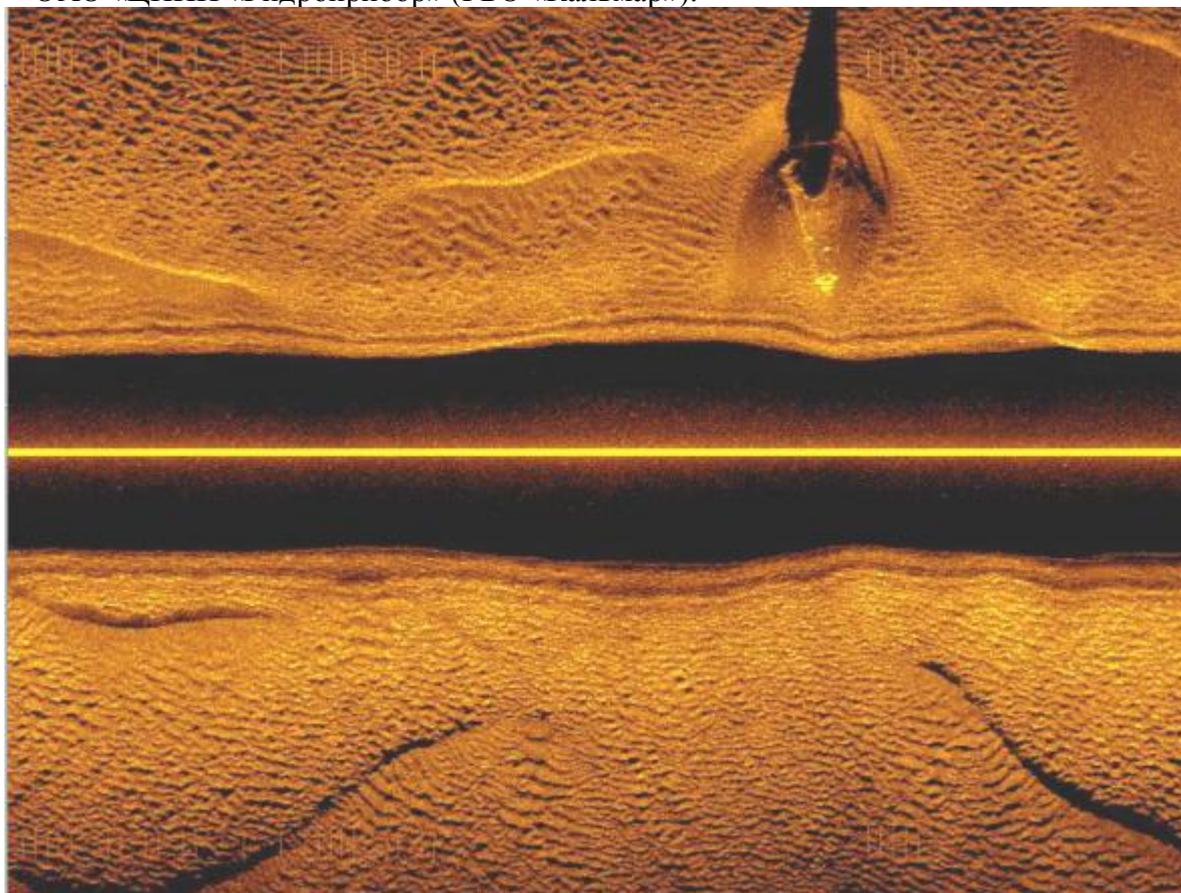
P

ис. 44. Сектора обзора ГБО и МЛЭ.

Антенны ГБО размещаются по бортам подводного аппарата (ПА). Под днищем ПА образуется мёртвая зона. Антенна МЛЭ размещается под днищем ПА и перекрывает мёртвую зону. Вид затонувшего объекта на экране ГБО представлен на рис. 45.

В РФ собственные разработки МЛЭ выполнили:

- ЗАО НТП «Реаконт» (МЛЭ Р-161; Р-322; Р-323);
- ОАО «Концерн Океанприбор» (МЛЭ «Корвет-МЛЭ-250»);
- ОАО «НИИ приборостроения им. В. В. Тихомирова» («Неман ГБОЭ-500»);
- ОАО «ЦНИИ «Гидроприбор» (ГБО «Кальмар»).



P

ис. 45. Вид затонувшего объекта на экране дисплея ГБО. В центре — тёмная мёртвая зона.

— Компания Технополь (Многолучевой эхолот и ГБО — с широкой полосой обзора для прибрежной зоны).

Несмотря на малые габариты, современные ГБО и МЛЭ не могут использоваться водолазом. Они могут быть размещены только на ПСД типа «Сирена», поскольку при их использовании необходима высокая стабильность курса, крена и дифферента. Иначе картинка будет смазана.

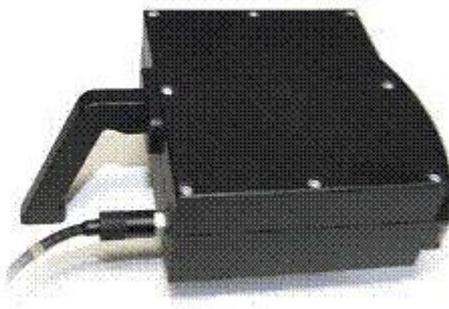
Для использования водолазом при поиске затонувших предметов больше подходят звуковизоры.

4.3.4. Звуковизоры как средства подводного поиска появились сравнительно недавно. В середине 80-х годов НИИ «Риф» (г. Бельцы, Молдавской ССР) была выполнена НИР «Маска» в результате которой был создан первый отечественный звуковизор. Он работал на принципе акустической линзы и давал изображения на экране электронно-лучевой трубки, которые в ряде случаев позволяли произвести классификацию (опознавание) объекта. Однако он имел значительные габариты и высокую стоимость.

За рубежом пошли по пути создания звуковизоров на принципах МЛЭ. Они получились меньше в размерах и дешевле, однако они не позволяют рассмотреть объект с фронтальной позиции (позволяют рассмотреть только сбоку).

В настоящее время за рубежом создано несколько типов звуковизоров. В нашей стране звуковизоры не производятся.

Высокочастотный гидролокатор — звуковизор «Нептун» (Разработка НИИ «Риф» г. Бельцы, Молдова (рис. 46) по своим техническим характеристикам близок к английскому звуковизору «BLUE VIEW».

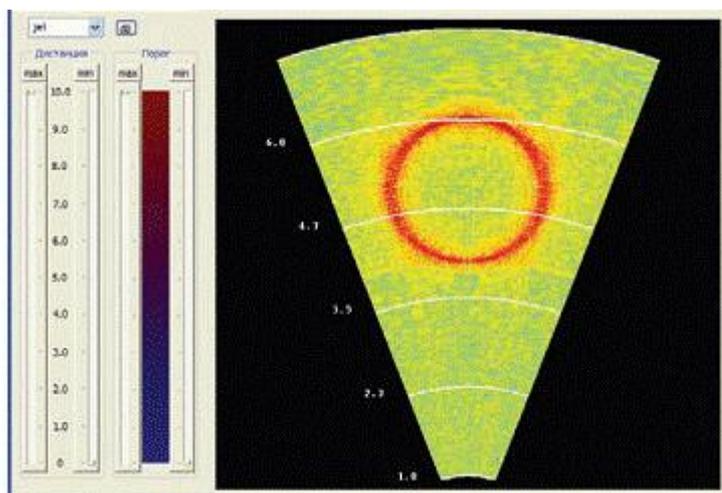


ис. 46. Звуковизор «Нептун».

Звуковизор обеспечивает:

— получение гидроакустического изображения объектов и определение координат: пеленга, дистанции;

— отображение данных на мониторе с возможностью сохранения и последующего просмотра.



P

ис. 47. Изображение шины от большегрузного автомобиля на экране звуковизора.

Основные технические характеристики:

- рабочая частота гидролокатора, кГц — 450;
- дальность обнаружения подводных целей, м — до 140;
- количество лучей — 256;
- сектор обзора — 45° ;
- вероятность распознавания целей — 0,95;
- вес в воздухе, кг — 5,75;
- размеры (максимальные), мм — 95x70x40.
- рабочая глубина в обычном исполнении 300 м.

Высокочастотный гидролокатор «Нептун» является полноценным звуковизионным устройством с функцией формирования двумерного видеоизображения. С помощью гидролокатора-звуковизора легко идентифицировать и сопровождать объекты в воде с нулевой видимостью. Прибор предназначен для водолазов, установке на ПСД, НПА, а также для применения в подводных системах безопасности. На рис. 47 показано изображение автомобильной шины, лежащей

на грунте, на экране монитора с дистанции 6 — 8 м. в воде с нулевой прозрачностью.

Необходимо отметить, что вывод изображения осуществляется либо на водолазный электронный планшет, либо на дисплей, установленный на катере.

4.3.4. Недостатками современных звуковизоров является невозможность получения фотографического изображения объекта, подобно фотографии на воздухе. Мы видим только те части изображения, которые отражают акустические волны в нашу сторону. Часто это отдельные блики (как ночью электрический фонарик выделяет только светлые части объекта).

Проблема в том, что под водой отсутствуют фоновые звуковые засветки, создающие сплошную звуковую освещённость (в отличие от солнечного света на Земле). Частично, выход из ситуации возможен несколькими путями.

На малых глубинах можно использовать поверхностную реверберацию (отражение звука от поверхности моря) для создания фоновой засветки. Для этого излучатель звуковизора направляется в сторону поверхности воды под определённым углом, а приёмные каналы по-прежнему смотрят на объект. Затем излучается мощный короткий импульс. Отражённые от поверхности звуковые волны облучают объект под разными углами, поскольку отражаются от поверхности разных морских волн. Это приводит к появлению фоновой засветки объекта и выявлению большого количества ранее не видимых деталей в основном в верхней части объекта. Вместе с прямыми (фронтальными) засветками, это позволит полнее выявить и классифицировать объект.

Другой путь — это стробирование приёмника звуковизора по дальности. После первичного обнаружения объекта дистанция до него уже известна. Перед следующим

импульсом звуковизор автоматически настраивается так, что приёмный канал запирается до прихода отражённого сигнала с дальности немного (на несколько сантиметров) большей предыдущей. Теперь первичные блики от объекта уже не высвечиваются. Принимаются более дальние отражённые сигналы. Тем самым высвечивается та часть объекта, которая даёт отражения меньшей интенсивности. Так повторяется несколько раз, пока объект не будет полностью перекрыт стробированием по дальности.

В конце этой процедуры мы сможем увидеть только отражения от зоны объёмной реверберации на находящейся за объектом. Перед ней будет тёмный силуэт объекта. Перевернув изображение на негатив, мы получим светлый силуэт объекта на тёмном фоне объёмной реверберации. Наложив ранее полученные изображения друг на друга, и обработав, мы сможем получить более качественное изображение объекта.

Следует отметить, что объёмная реверберация особенно велика в прибрежных мелководных районах, где много планктона, взвеси из воздушных пузырьков и частиц ила. Это позволит сделать предложенный метод вполне эффективным в прибрежных районах.

Глава 5. Средства коррекции речи водолаза

В советское время в нашей стране выпускались отечественные преобразователи речи телефонных станций ВПС-1, ВПС-2 и ВТС-59м разработки ОАО «Дальняя связь». Их описание можно найти в книге Н.А.Стопцов и др. «Связь под водой», изд. «Судостроение», Ленинград, 1990 г., стр.177.

В основу устройства, корректирующего частотный спектр речи водолаза в ВТС положен спектрально-полосный метод анализа и синтеза речевого сигнала.

По этому методу электрический сигнал, полученный от микрофона водолаза, после усиления входным усилителем, поступает в преобразователь речи на корректирующий усилитель для частотной компенсации искажений спектра. Выход корректирующего усилителя нагружен на гребёнку полосовых фильтров анализатора, перекрывающую смежными частотными полосами диапазон частот исходного спектра речи водолаза 500 — 7200 Гц. С целью получения удовлетворительной разборчивости и естественного звучания преобразованной речи, указанный диапазон частот разделён фильтрами анализатора на 14 полос. В каждой полосе определяют среднее значение напряжения путём выпрямления напряжения на выходе каждого фильтра детектором и исключением из выпрямленного напряжения всех высших составляющих с помощью фильтров нижних частот 0 — 80 Гц. Полученные таким образом средние значения напряжений воздействуют на модуляторы в качестве управляющих сигналов и используются в синтезаторе для преобразования спектра речи в каждой полосе.

В качестве источника несущих частот используют гармонические составляющие основного тона, выделенные из спектра исходного сигнала полосовыми фильтрами несущих частот, также подключённых к выходу входного усилителя. Частотные полосы этих фильтров смещены на октаву в сторону низких частот относительно полос фильтров анализатора.

На выходе каждого модулятора образуется сигнал с широким спектром частот, пропорциональный величине управляющего сигнала, из которого с помощью фильтра синтезатора выделяется полоса частот, смещённая на октаву в сторону низких частот. Суммарный синтезированный сигнал аналогичен характеру интенсивности исходного речевого спектра и имеет диапазон 250 — 3600 Гц.

К недостаткам корректоров следует отнести значительные искажения речевого спектра, поскольку синтезированный звук не содержит тонкой структуры сигнала, свойственной живой речи, т.к. все его составляющие, попадающие в одну полосу частот, имеют одинаковые значения. Выходом из этой ситуации может быть увеличение количества фильтров анализатора, что приводит к существенному увеличению габаритов и стоимости аппаратуры.

Другим недостатком является фиксированная величина смещения речевого спектра (ровно на одну октаву вниз), независимо от состава дыхательных смесей и глубины погружения водолаза. Это также приводит к ухудшению разборчивости речи, поскольку исходный спектр речевого сигнала смещается вверх по частоте на разные значения, в зависимости от состава смеси и глубины погружения водолаза. В идеальном случае коэффициент частотной коррекции речи водолаза должен быть переменной величиной, плавно изменяющейся в диапазоне от 1 до 0,3.

Существенным недостатком прототипа является также значительные габариты и стоимость преобразователя речи.

В настоящее время нашей стране корректоры речи для водолазов-глубоководников не выпускаются. Ранее (на стр. 73) уже предлагалось использовать для коррекции речи водолазов-глубоководников программу-переводчик. Однако это не всегда возможно.

Дело в том, что программу-переводчик необходимо обучать. Это можно сделать во время тренировочных глубоководных спусков водолазов в барокамерах. Однако это невозможно при первичных экспериментальных спусках на большие глубины и при реальных рабочих спусках в море флотских водолазов, не работавших ранее с программой-переводчиком.

Поэтому имеет смысл создать свой, отечественный корректор речи водолаза, вместо того, чтобы закупать дорогие французские.

Могу предложить принципиально новый корректор речи, который будет иметь малые габариты и обладать широкими возможностями по коррекции звука. Его блок-схема и принцип работы приведены в приложении б.

Он позволяет осуществлять смещение спектра речи на любой (целый и дробный) коэффициент коррекции, а также плавно сдвигать спектр вниз и вверх по частоте за счёт сдвига восстановленной несущей.

Помимо своих основных функций, возможно использование корректора речи и для целей создания специальных звуковых эффектов (например, для эстрадных исполнителей). Тогда это будет уже не корректор речи а «Voice adapter».

Он будет создавать неожиданные звуковые эффекты — мужчина сможет петь женским голосом (в этом случае коэффициент коррекции должен быть больше единицы), а женщина — мужским (коэффициент коррекции меньше единицы). Возможно исполнение на два, три и четыре голоса одним исполнителем разными голосами. Возможно расширение голосового диапазона исполнителя до 4-х октав.

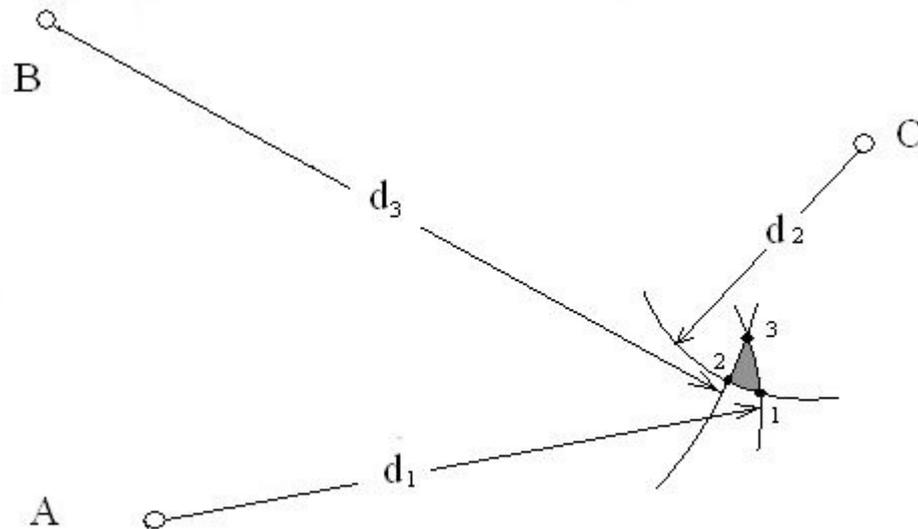
Приложение 1

Определение места водолаза по трём дистанциям (подводная навигация)

Из геометрии известно, что любой треугольник может быть полностью описан длиной трёх его сторон. Предлагаемый метод определения места водолаза под водой не требует наличия высокоточного пеленгатора в составе навигационно-гидроакустического комплекса. Достигнутая погрешность измерения дистанции до маяка (методом «запрос — ответ») позволяет получить точность +1м на дистанции до 500м.

Если гидроакустические маяки расположить треугольником в районе поиска, то, измерив дистанцию до них, получим треугольник ошибок (рис. 1). Положение водолаза в треугольнике ошибок определяется путём компьютерной обработки (находится точка пересечения биссектрис трёх углов).

Расположение ГА-маяков в районе поиска может быть произвольным, однако место каждого маяка должно быть определено с высокой точностью. Рассмотрим возможные варианты постановки маяков и определения их места.



P

ис. 1.

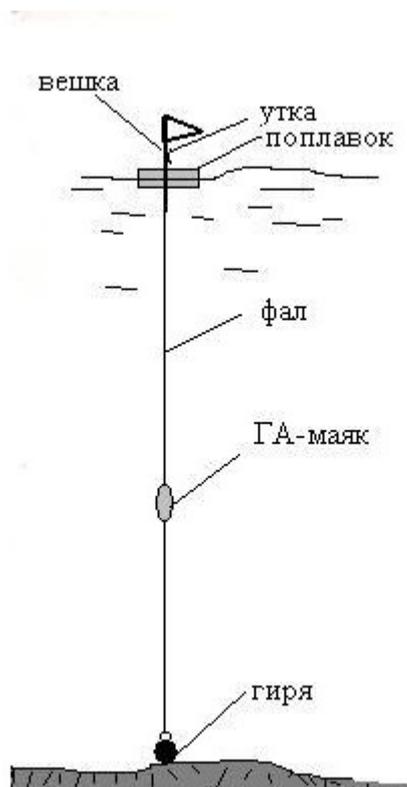
Маяки А; В и С установлены в трёх произвольных точках и отображены на электронном планшете. Измеряя дистанцию от водолаза до каждого маяка, получаем треугольник ошибок с точками 1; 2 и 3. В этом треугольнике и находится водолаз. При определении места только по двум маякам А и С, получаем ложную точку 4.

Вариант 1. Подводный поиск без точной привязки к системе географических координат.

Ориентируясь по береговым ориентирам, катер (лодка) устанавливает первый ГА-маяк в точке А (конструкция маяка приведена на рис. 2). Для чего сбрасывает гирию, маяк и поплавок с вешкой за борт, притапливает полую вешку рукой и наматывает капроновый фал на утку. Вешка (трубка) должна стоять вертикально и точно над маяком.

Затем, ложится на курс КК1 (допустим компасный курс $КК=100^{\circ}$) и через некоторое время сбрасывает второй маяк в точке В. Устанавливает его аналогично первому (рис. 3).

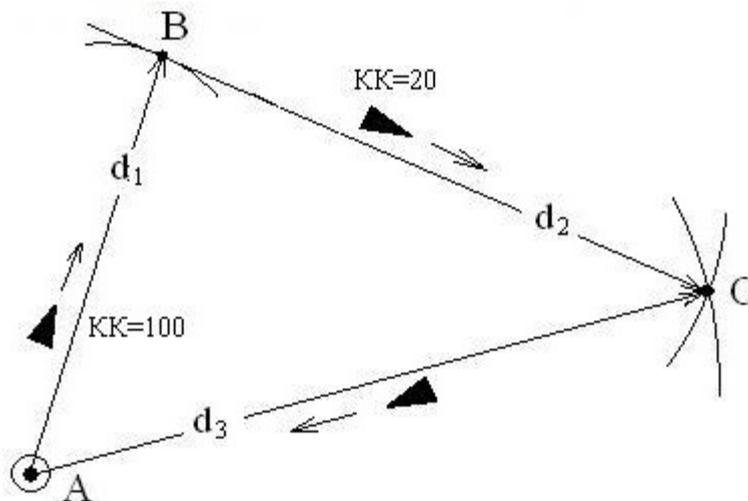
Потом катер пеленгует вешку А своим оптическим пеленгатором, переходит в точку С ($КК=20^{\circ}$) и устанавливает третий ГА-маяк. Из этой точки он пеленгует вешки А и В (точность пеленгования $+10$), и вводит все пеленга в навигационный планшет. Затем спускает водолаза с навигационным планшетом у вешки С.



P

ис. 2. Конструкция якорного гидроакустического маяка.

Водолаз, удерживаясь рукой за капроновый фал, измеряет дистанции до маяков А и В (дистанции вводятся в планшет автоматически). Затем планшет включается водолазом в режим автоматической калибровки и обозначает места расположения маяков, устраняя ошибки пеленгования и измерения дистанции (подгоняет стороны треугольника по определённому алгоритму обработки ошибок так, чтобы они сходились в углах). Процедуру уменьшения ошибок можно повторить в точке А, ещё раз измерив дистанции до маяков В и С.



P

ис. 3. Подводный поиск без точной привязки к системе географических координат.

Вариант 2. Подводный поиск с привязкой к системе географических координат по GPS.

Если на катере есть GPS — навигатор, то необходимость в пеленговании вешек над маяками отпадает. В каждой точке постановки ГА-маяка определяется его место по КНС и вводится в навигационный планшет. Затем с помощью водолаза и планшета измеряются дистанции между маяками. После чего планшет включается водолазом в режим автоматической калибровки и обозначает места расположения маяков, устраняя ошибки

GPS- навигатора и погрешности измерения дистанций между маяками. При отсутствии GPS — навигатора или большой погрешности измерений координат в данном районе применяют третий метод с использованием теодолита.

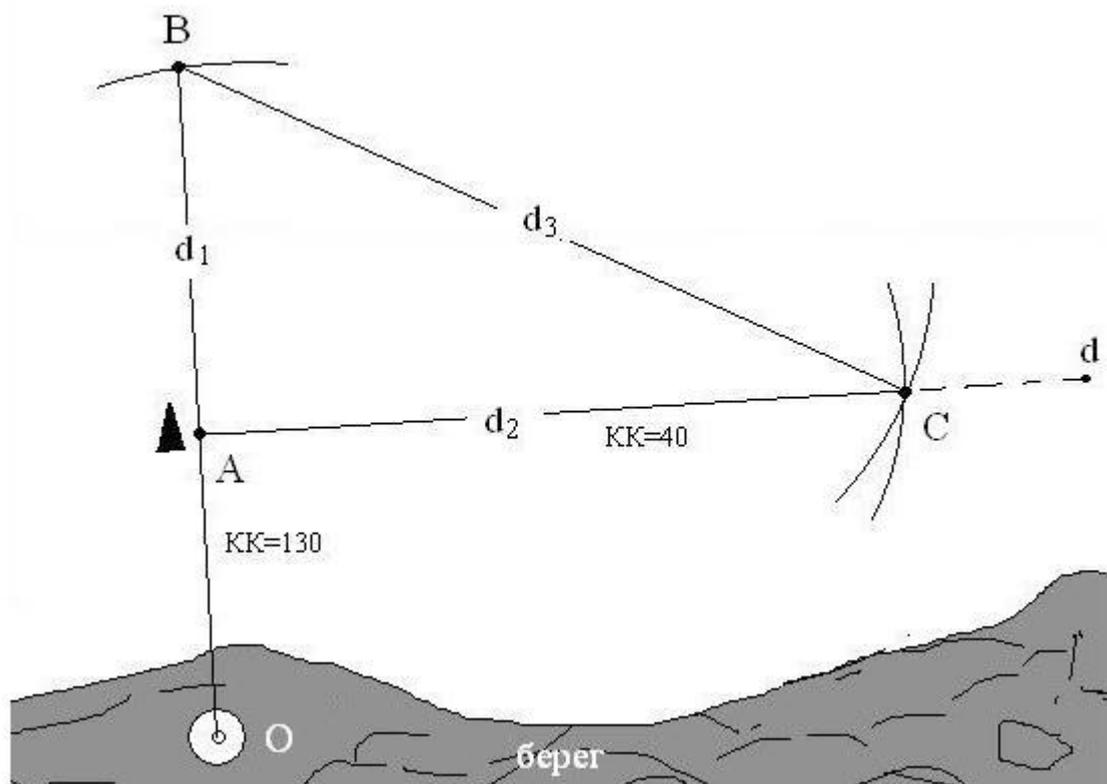
Вариант 3. Подводный поиск с точной привязкой к системе географических координат без GPS.

В точке О (рис. 4) на берегу (её координаты известны с высокой точностью) устанавливают теодолит с лазерным дальномером. Катер с водолазом ложится на заранее обусловленный курс (например, $KK=130^\circ$) и движется в точку А. Из точки О направляют катер по радию и измеряют дистанцию до него лазерным дальномером.

Достигнув точки А катер устанавливает ГА-маяк, вводит его координаты в планшет (их передают по радию с теодолитного поста на берегу) и продолжает движение в точку В. Достигнув точки В (по радию его движение корректируют с берега) он устанавливает второй ГА-маяк, вводит его координаты в планшет и ложится на курс в точку С. Там он устанавливает третий маяк и также вводит его координаты в планшет. Для повышения точности определения места маяков катер может отойти в точку d и определить пеленг на маяк А из точки С (данные вводятся в планшет).

Затем катер возвращается в точку А (она имеет наиболее точные координаты), спускает водолаза с планшетом и измеряет дистанции до ГА-маяков в точках В и С. После чего планшет включается водолазом в режим автоматической калибровки и обозначает более точно места расположения маяков, устраняя погрешности измерения дистанций между маяками.

При данном методе коррекции места маяков погрешность измерений может составить +0,5м и менее.

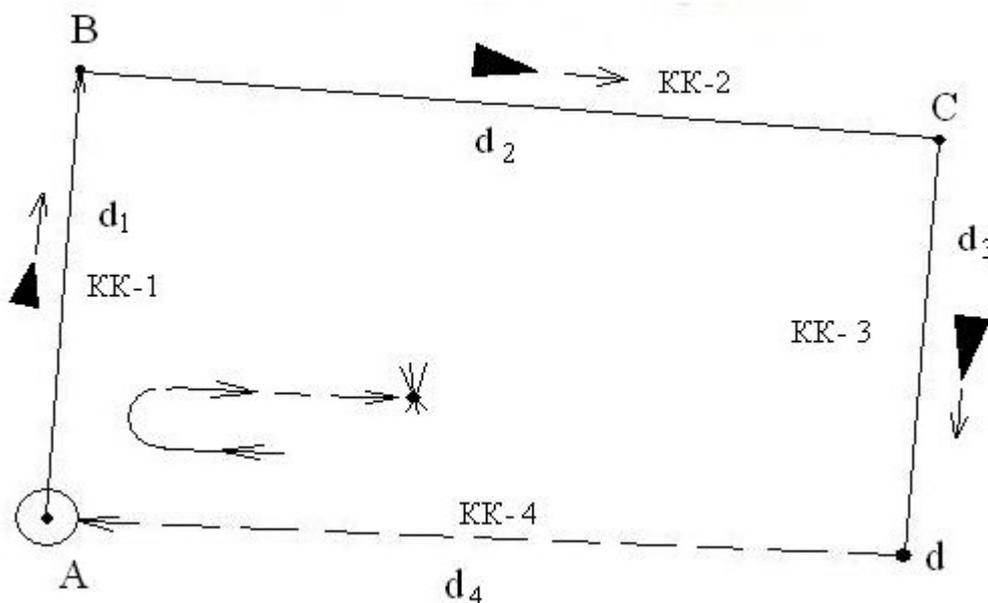


ис. 4. Подводный поиск с точной привязкой к системе географических координат без GPS.

Вариант 4. Определение места водолаза по четырём маякам.

Как правило, район поиска затонувших предметов имеет форму четырёхугольника близкого к прямоугольнику. Для повышения точности определения места водолаза целесообразно расставить ГА-маяки в углах этого четырёхугольника (рис. 5).

Тогда в каждой точке местонахождения водолаза будем иметь четыре дистанции и четырёхгранник ошибок. Место нахождения водолаза в этом четырёхграннике определяется как точка пересечения диагоналей. Это несколько повысит точность измерений координат водолаза и точность построения траектории его движения по сравнению с треугольником ошибок при наличии только трёх ГА-маяков.



P

ис. 5. Определение места по четырём гидроакустическим маякам.

Для построения траектории движения водолаза необходимо, чтобы запрос маяков выполнялся автоматически через каждые 3 — 5 секунд. При этом водолаз может двигаться вплавь или на буксировщике. Скорость поиска соответственно будет составлять 0,2 — 0,3 или 1,0 — 1,5 м/с.

Приложение 2

Станция гидроакустической связи и пеленгования водолаза

Известны гидроакустические однополосные станции связи водолазов и пеленгаторы гидроакустических маяков, использующие амплитудный, фазовый, или разностно-дальномерный методы пеленгования.

Амплитудный метод наиболее прост в технической реализации. Он широко применяется в ГАС шумопеленгования, пеленгаторах и гидролокаторах. В водолазных пеленгаторах амплитудный метод реализован в отечественной аппаратуре водолаза МГВ-3М, выпускавшейся до 1983 г. Волгоградским заводом «Ахтуба».

К недостаткам пеленгатора аппаратуры МГВ-3М следует отнести:

- сравнительно узкую диаграмму направленности (60 градусов), не позволяющую одновременно обнаруживать работу маяка в круговом секторе;
- невозможность использования ГАС для связи между водолазами;
- невозможность пеленгования речевых сигналов ГАС связи водолазов.

Насущной задачей является создание ГАС водолаза, которая позволяла бы вести гидроакустическую связь и пеленгование гидроакустических сигналов одновременно, а также любых других сигналов, попадающих в полосу пропускания ГАС (приводных, шумовых, гидролокационных).

Указанные недостатки могут быть устранены путём добавления к обычной ГАС связи водолаза функции пеленгования. Задача решается следующим образом.

Берутся два одинаковых приёмных тракта звукоподводной связи (ЗПС), и две гидроакустические антенны, которые устанавливаются на голове (шлеме) водолаза так, чтобы одна антенна была обращена в левое полушарие относительно плоскости, проходящей через продольную ось водолаза, и её приёмный тракт ЗПС работал на левый телефон водолаза, а другая антенна была бы обращена в правое полушарие, и её приёмный тракт ЗПС работал на правый телефон водолаза.

Диаграмма направленности каждой из антенн близка к 180 градусам за счёт конструкции самой антенны и из-за затенения гидроакустических сигналов головой водолаза с противоположной стороны. Таким образом, приём сигналов связи может осуществляться водолазом в круговом секторе на два приёмных канала и две антенны, установленные по бокам шлема водолаза.

Оба тракта (канала) ЗПС должны быть соединены между собой объединяющей их системой автоматической регулировки усиления (АРУ). Для исключения взаимного влияния систем АРУ каждого тракта их выходы должны быть разделены диодами (логическое «ИЛИ») и усилителем сигналов АРУ, обеспечивающим широкий динамический диапазон каналов.

На рис. 1 приведена блок-схема предлагаемой ГАС связи и пеленгования. ГАС содержит: два идентичных приёмных тракта (канала) ЗПС и состоит из антенны 1, обращённой в левое полушарие, и антенны 2, обращённой в правое полушарие; телефона 3, установленного в левом гнезде полнолицевой маски водолаза, и телефона 4, установленного в правом гнезде маски; усилителей однополосного сигнала 5 и 6; детекторов сигнала 7 и 8, на которые подаётся высокочастотный сигнал с гетеродинов 9 и 10 для восстановления подавленной несущей частоты; усилителей низкой частоты 11 и 12, сигнал с которых подаётся на левый и правый телефоны водолаза; детекторов сигналов АРУ 13 и 14, сигналы с которых выводятся на диоды 15 и 16, усилителя АРУ 17, сравнивающего устройства (компаратора) 18.

Работает ГАС связи и пеленгования следующим образом.

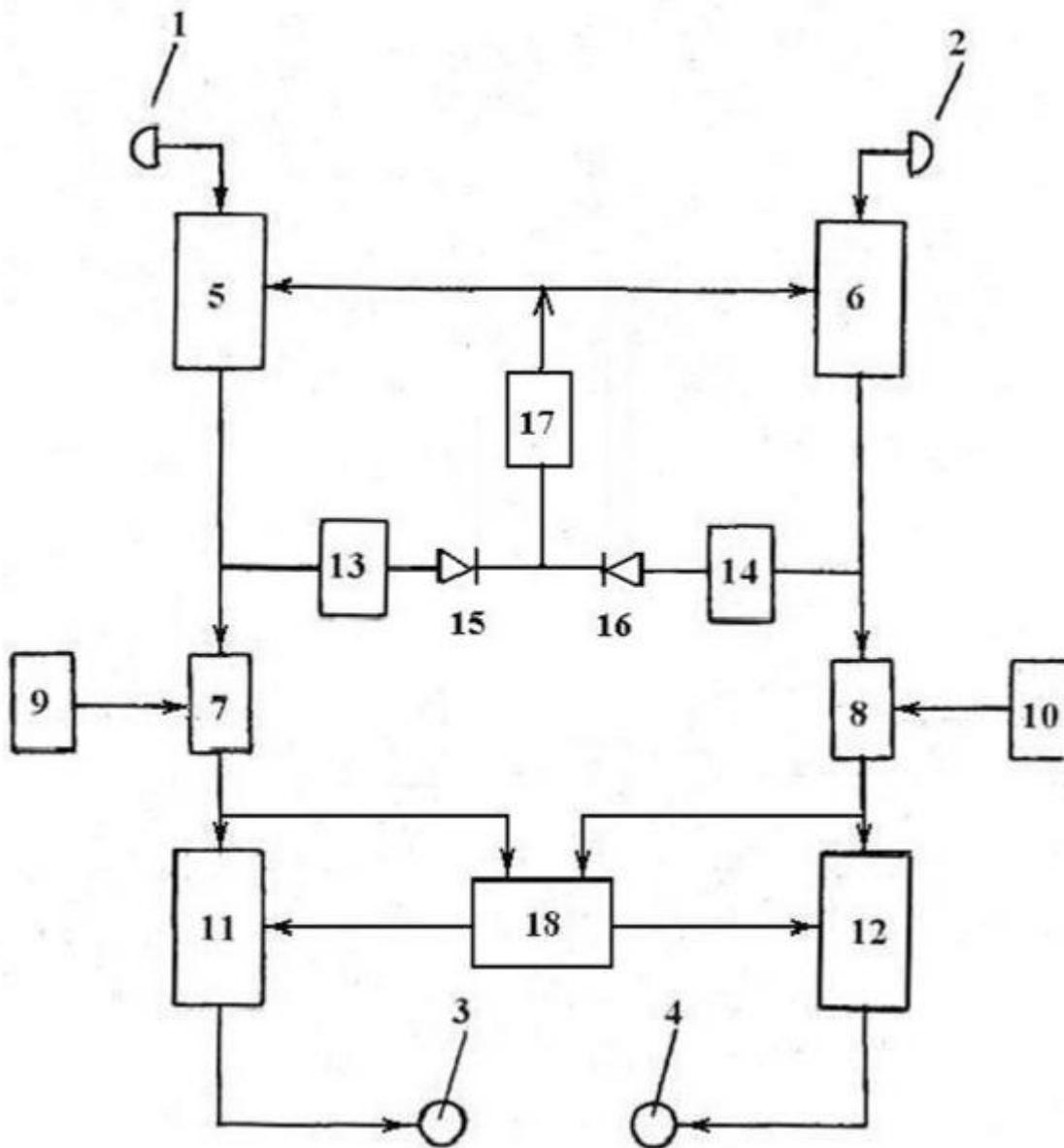
Гидроакустический сигнал от маяка (или речевой сигнал) поступает на антенны 1 и 2 пеленгатора, но амплитуда его различна. Если источник звука находится справа от водолаза, то в правом канале ГАС (усилители 6 и 12) сигнал сильнее, если слева, то сильнее сигнал в левом канале (усилители 5 и 11). В случае, когда источник звука находится по курсу движения водолаза, или позади него, сигналы в обоих приёмных каналах пеленгатора одинаковы.

Однако, несмотря на существенные различия в уровнях сигналов на входе приёмных каналов пеленгатора, громкость сигналов в телефонах водолаза 3 и 4 будет примерно одинакова, если системы АРУ приёмных каналов были бы независимы. Слабый сигнал будет усиливаться больше, а сильный меньше. В результате, водолаз не смог бы запеленговать источник гидроакустического сигнала.

Другая ситуация возникает, если системы АРУ обоих усилителей каналов объединены, а результирующий сигнал АРУ равен максимальному уровню сигнала АРУ в одном из приёмных каналов пеленгатора. Тогда оба канала будут иметь одинаковый коэффициент усиления и выходной сигнал в телефонах водолаза будет пропорционален входному сигналу в антеннах. Достаточно иметь разницу в уровнях сигналов в два раза (6 дБ), чтобы водолаз мог сказать, с какой стороны находится гидроакустический маяк или другой источник звука, слева от него или справа. Поворачиваясь влево и вправо, водолаз может выйти на равносигнальную зону и запеленговать источник звука. На практике, уровни сигналов в левой и правой антеннах пеленгатора могут отличаться в 10 и более раз за счёт направленности антенн. Это значит, что левый телефон водолаза будет выключен системой АРУ, если источник звука находится справа, и наоборот, что позволит водолазу уверенно ориентироваться относительно гидроакустического маяка или другого водолаза, вышедшего на связь.

Для обострения пеленга в равносигнальной зоне и повышения удобства пеленгования в схему введён компаратор 18, сравнивающий сигналы на входе усилителей низкой частоты 11 и 12 обоих каналов ГАС. Если сигнал низкой частоты в одном из каналов превышает аналогичный сигнал в другом канале более чем на 20%, то усилитель низкой частоты со слабым сигналом запирается компаратором и телефон водолаза отключается. Это позволяет сузить диаграмму направленности пеленгатора по курсу и повысить точность пеленгования.

Указанный метод пеленгования является новым и в технической литературе отсутствует. Автор назвал его амплитудно-селективным.



ис. 1. Блок-схема станции связи и пеленгования.

Цифрами на схеме обозначены: антенна 1, обращённая в левое полушарие, и антенна 2, обращённая в правое полушарие; телефон 3, установленный в левом гнезде полнолицевой маски водолаза, телефон 4, установленный в правом гнезде маски; усилители однополосного сигнала 5 и 6; детекторы сигнала 7 и 8, на которые подаётся высокочастотный сигнал с гетеродинов 9 и 10 для восстановления подавленной несущей частоты; усилители низкой частоты 11 и 12, сигнал с которых подаётся на левый и правый телефоны водолаза; детекторы сигналов АРУ 13 и 14, сигналы с которых выводится на диоды 15 и 16, усилителя АРУ 17, сравнивающее устройство (компаратор) 18.

Приложение 3

Система скрытной гидроакустической связи

При использовании ГАС связи иногда возникает необходимость скрыть не только смысл, но и сам факт передачи информации по гидроакустическому каналу. Существующие однополосные системы передачи информации не обладают такой скрытностью. В то же время из радиосвязи известны системы передачи данных с помощью широкополосных шумоподобных сигналов (ШПС), обладающих высокой скрытностью и помехоустойчивостью. Примеры таких систем приведены в книге Варакина Л. Е. «Системы связи с шумоподобными сигналами», изд. «Радио и связь», М, 1985г. Одним из широко применяемых методов модуляции шумоподобных сигналов является частотная модуляция или частотная манипуляция. Блок-схема системы связи с частотноманипулированным ШПС приведена в книге Варакина Л. Е. на стр. 19 (рис.1.11). Недостатками этой системы скрытной связи являются сложность, высокая стоимость и значительные габариты приёмо-передающей аппаратуры, делающие её непригодными для станций ЗПС боевых пловцов и дайверов.

Целью настоящей работы является создание простой малогабаритной и дешёвой системы скрытной гидроакустической связи водолазов (ЗПС) с частотномодулированным или с частотноманипулированным шумоподобным сигналом.

Идея системы ЗПС состоит в том, что в передатчике звуковой сигнал в режиме телефонии (ТЛФ) или телеграфии (ТЛГ) после усилителя низкой частоты подаётся на генератор несущей (опорной) частоты и модулирует его по частоте. Затем этот ЧМ-сигнал подаётся на балансный модулятор (БМ), на другой вход которого подаётся шумовой сигнал от генератора шума или от специального приёмника шумов моря. На выходе БМ получаем двухполосный ШПС с подавленной несущей. Этот сигнал усиливается широкополосным усилителем мощности и излучается в воду с помощью акустической антенны.

В приёмном тракте шумоподобный гидроакустический сигнал поступает от антенны на вход широкополосного усилителя-ограничителя (или нескольких усилителей-ограничителей охватывающих всю полосу ШПС), который срезает все амплитудные помехи, что повышает помехоустойчивость системы. После этого сигнал детектируется с помощью обычного амплитудного детектора **без восстановления несущей**. В результате на выходе детектора все составляющие спектра шума (нижняя и верхняя боковые полосы) взаимодействуют между собой, образуя суммарные и разностные частоты шумового спектра. Суммарные частоты подаются на фильтр высокой частоты, а разностные частоты (низкие) подавляются тем же фильтром. Среди суммарных частот есть и сигнал с частотой равной удвоенной частоте несущей. Он образуется в результате сложения нижней и верхней боковой полос шумоподобного сигнала (происходит «свёртка» шумоподобного сигнала). Эта двойная несущая модулирована по частоте звуковым сигналом (ТЛФ или ТЛГ) также как и основная исходная несущая в передатчике, но с двойной девиацией. Она выделяется полосовым фильтром и подаётся на частотный детектор. На выходе детектора получается низкая частота, которая после усилителя поступает в телефон (наушник) водолаза.

Суть предложенной системы ЗПС поясняется рисунками.

На фигуре 1 представлена блок-схема передающего тракта.

На фигуре 2 представлена блок-схема приёмного тракта.

На фигуре 3 представлены спектральные характеристики передающего тракта.

На фигуре 4 представлены спектральные характеристики приёмного тракта.

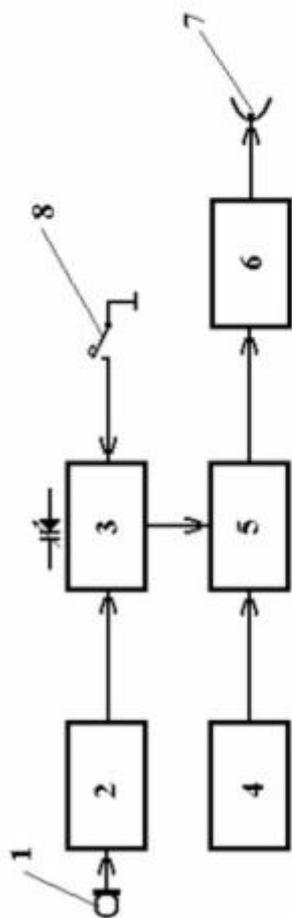
Цифрами на рисунках обозначены.

На фиг. 1: 1 — микрофон, 2 — усилитель низкой частоты, 3 — генератор несущей частоты с возможностью её частотной модуляции, 4 — генератор широкополосного шума,

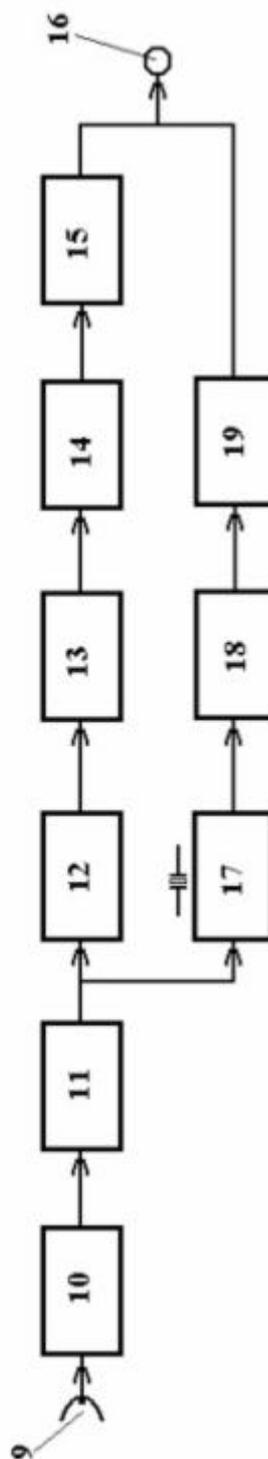
5 — балансный модулятор, 6 — усилитель мощности ШПС, 7 — передающая антенна, 8 — телеграфный ключ.

На фиг. 2: 9 — приёмная антенна, 10 — усилитель-ограничитель шумоподобного сигнала, 11 — амплитудный детектор, 12 — фильтр высокой частоты, 13 — усилитель высокой частоты, 14 — частотный детектор, 15 — усилитель низкой частоты, 16 — телефонный капсюль, 17 — узкополосный кварцевый фильтр, 18 — усилитель высокой частоты, 19 — генератор тона.

Система скрытной гидроакустической связи

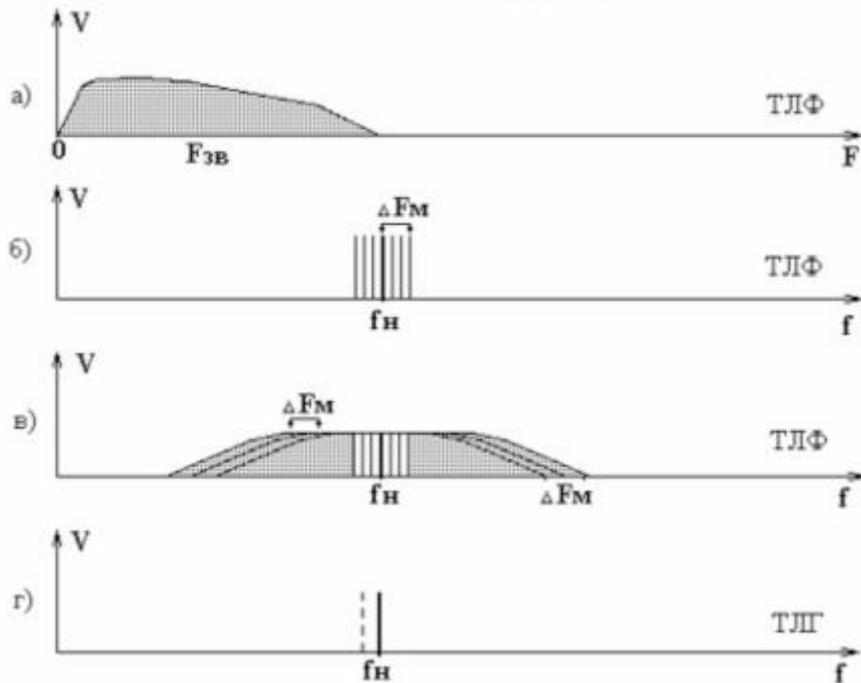


Фиг. 1. Передающий тракт.

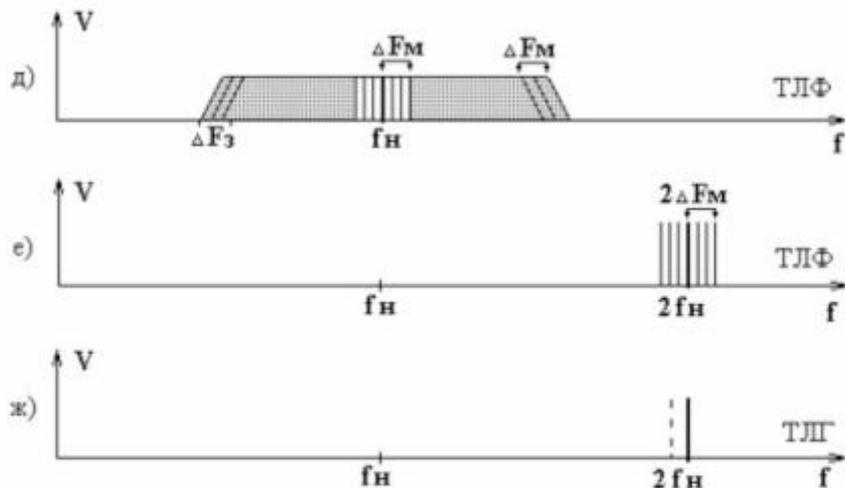


Фиг. 2. Приёмный тракт.

Система скрытной гидроакустической связи



Фиг. 3. Спектральные характеристики передающего тракта.



Фиг. 4. Спектральные характеристики приёмного тракта.

Работает система скрытной ЗПС следующим образом.

В передающем канале с микрофона 1 сигнал с шириной спектра $F_{зв}$ (фиг. 3 а) поступает на усилитель низкой частоты 2. Усиленный сигнал подаётся на генератор 3 несущей частоты f_n , которая с помощью варикапа модулируется по частоте (фиг. 3 б). Далее эта частота (ЧМ ТЛФ-сигнал) поступает на балансный модулятор 5. Одновременно с генератора шума 4 на балансный модулятор 5 подаётся широкополосный шум. На выходе БМ получаем широкополосный шумоподобный сигнал с подавленной несущей которая модулирована по частоте (фиг. 3 в). Далее этот сигнал поступает на высокочастотный широкополосный усилитель мощности 6 и излучается антенной 7. В случае работы в режиме телеграфии (или

передачи цифровой информации двоичным кодом) генератор несущей f_0 модулируется по частоте узкополосным ТЛГ- сигналом (фиг. 4 г) с помощью телеграфного ключа 8.

В приёмном канале шумоподобный сигнал с антенны 9 поступает на вход широкополосного усилителя-ограничителя 10 (фиг. 4 д) после которого детектируется обычным амплитудным детектором 11. С детектора сигнал поступает на высокочастотный полосовой фильтр 12, настроенный на частоту $2f_0 + 2F_m$ (фиг. 4 е). Далее высокочастотный сигнал поступает на усилитель высокой частоты 13, а затем на частотный детектор 14 (расстроенный колебательный контур). На выходе частотного детектора получаем низкочастотный ТЛФ-сигнал, который усиливается усилителем 15 и подаётся на телефон водолаза 16. В случае ТЛГ-сигнала (или цифрового двоичного кода) применяется узкополосный кварцевый фильтр 17, повышающий чувствительность приёмного тракта, после которого высокочастотный сигнал (фиг. 4 ж) усиливается усилителем 18 и запускает (или выключает) генератор тона 19, с которого сигнал поступает в телефон водолаза 16 (или в дешифратор цифровых сигналов).

Налицо существенное упрощение системы скрытной гидроакустической связи по сравнению с аналогичными системами в радиосвязи. Так в предлагаемой системе отсутствуют синхронизатор, генератор сетки частот, второй модулятор, решающее устройство. А всё это непростые схемные решения.

Необходимо отметить, что в гидроакустике (в отличие от радиосвязи) частотная модуляция в режиме телефонии (частоты звука 0,1 — 3,5 кГц) возможна только при частоте несущей свыше 100 кГц, т.к. ширина спектра частотномодулированного ТЛФ-сигнала f_m превышает 10 кГц. Это обеспечивает дальность гидроакустической связи 300 — 500 м. Ширина спектра шума может лежать в пределах +20 — 30 кГц. При необходимости иметь большие дальности связи целесообразно переходить на частоты связи $f_0 = 25 — 35$ кГц и телеграфный (частотноманипулированный) режим работы с полосой 500 — 1000 Гц. Ширина полосы шума в этом случае может находиться в пределах +10 — 15 кГц.

Система скрытной связи может использоваться и для привода водолаза на гидроакустический маяк с шумоподобным сигналом. В этом случае маяк должен излучать ШПС с цифровой частотной манипуляцией подавленной несущей.

Дальнейшее повышение скрытности работы системы ЗПС возможно путём автоматической регулировки мощности излучения и несущей частоты в зависимости от дистанции между водолазами. Дистанция между водолазами не может изменяться быстро в больших пределах. Поэтому достаточно запрашивать дистанцию коротким импульсом (без ШПС) раз в 10 мин. и в соответствии с ней автоматически выбирать мощность излучения (маяк каждого водолаза отвечает на своей частоте).

Знание дистанции между водолазами и возможность определения пеленга позволит водолазам держаться плотной группой и работать на минимальных мощностях.

Приложение 4

Гидролокатор водолаза

Блок-схема гидролокатора приведена на рис. 1.

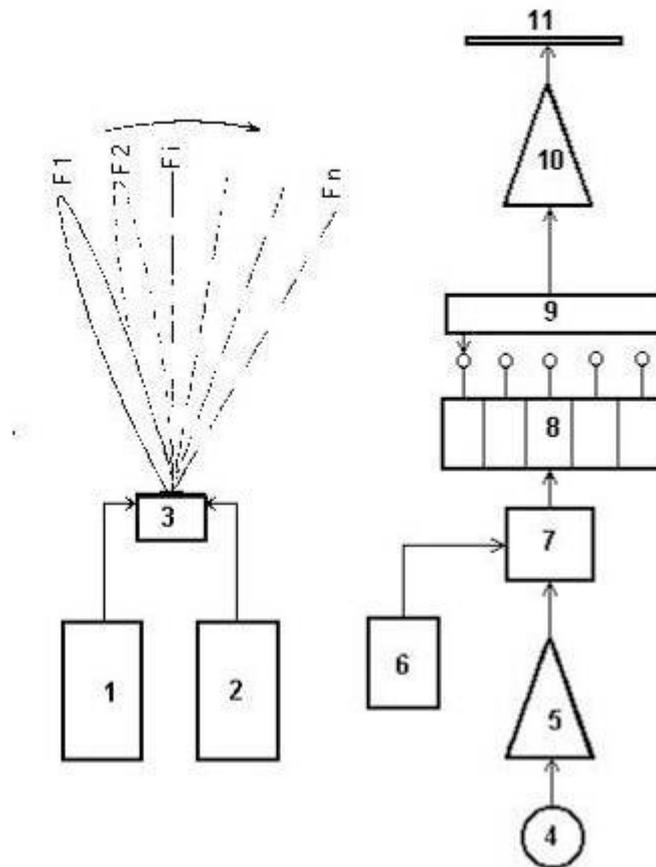
Гидролокатор состоит из генератора высокочастотного ЛЧМ сигнала 1; генератора опорного сигнала 2; вращающегося излучателя 3; приёмной ненаправленной антенны 4; предварительного широкополосного усилителя 5; гетеродина 6; смесителя 7; гребёнки полосовых фильтров 8; многоканального электронного коммутатора 9; видеоусилителя 10; индикатора 11. Для простоты изложения на блок-схеме опущены некоторые блоки (развёртки, промежуточного усиления сигналов, синхронизации, питания) не влияющие на принцип работы гидролокатора.

Работает гидролокатор следующим образом.

Генератор 1 генерирует высокочастотный ЛЧМ сигнал с частотой f_0 в диапазоне $f_{min} — f_{max}$, который подаётся на направленный вращающийся излучатель 3. Генератор

2 генерирует опорный сигнал с частотой f_0 , который тоже подаётся на вращающийся излучатель.

В результате нелинейного взаимодействия двух разных акустических колебаний в воде возникают акустические колебания разностной частоты $F_i = f_i - f_0$, которая также изменяется по линейному закону. Ширина диаграммы направленности лепестка разностной (низкой) частоты F_i в несколько раз уже, чем исходных частот излучения и может составлять 1 — 3 градуса. Боковые лепестки отсутствуют. В результате, каждому направлению излучения соответствует своя,



P

ис. 1. Блок-схема нелинейного гидролокатора с ЛЧМ сигналом.

мгновенная частота F_i . За время длительности импульса излучения T антенна 3 успевает повернуться на угол Y , который и составляет сектор обзора гидролокатора (при $Y = 360$ градусов получаем круговой обзор).

Отражённый от цели низкочастотный сигнал F_i , поступает на ненаправленную в горизонтальной плоскости приёмную антенну 4 и далее на предварительный широкополосный усилитель 5. После чего преобразуется по частоте в смесителе 7, на выходе которого получается более высокая частота k_i . Преобразование необходимо для уменьшения габаритов гребёнки узкополосных фильтров 8. Каждый фильтр гребёнки 8 пропускает сигнал длительностью t_i с частотой k_i в полосе dk_i , которая в N раз меньше ширины полосы ЛЧМ сигнала, излучаемого генератором 1. Длительность сигнала t_i также в N раз меньше длительности T . В результате возникает N приёмных каналов, каждый из которых осматривает сектор пространства шириной dY в общем секторе Y . N -канальный электронный коммутатор 9 последовательно опрашивает узкополосные фильтры 8, со скоростью, обеспечивающей необходимое разрешение по дальности. Далее сигнал поступает на видеоусилитель 10 и индикатор 11, который обеспечивает спиральную развёртку луча (круговую по курсовому углу и радиальную по дистанции).

Пример расчета.

Генератор 1 генерирует ЛЧМ сигнал f_i в диапазоне от 245 до 260 кГц, а генератор 2 генерирует опорный сигнал f_0 на частоте 200 кГц. Разностная частота F_i будет изменяться в диапазоне от 45 до 60 кГц. При излучаемой мощности частот f_0 и f_i равной 100 Вт, уровень сигнала на частоте F_i составит 210 дБ относительно 1 мкПа. Ширина диаграммы направленности луча составит 1,7 градуса (Роберт Дж. Урик. «Основы гидроакустики» // И. Судостроение, Ленинград, 1978г. стр. 105).

Для обеспечения разрешающей способности по дальности 2,5 м, длительность излучения в направлении dY составит $t_i = 0,003$ с. Полоса пропускания каждого из фильтров гребёнки на частоте k_i должна быть порядка $dk_i = 500$ Гц. Тогда количество частотных каналов в полосе 15 кГц $N = 30$. Длительность зондирующего импульса с ЛЧМ модуляцией составит $T = 0,14$ с. Скорость вращения излучателя — 90 об / мин. При ширине диаграммы направленности антенны $dY = 1,7$ градуса, за счёт быстрого её вращения, сектор обзора в единичном i -м приёмном канале с полосой пропускания 500 Гц увеличится до 3-х градусов. Тогда полный сектор одновременного обзора составит $Y = 90$ градусов.

Расчёт приёмного канала показывает, что при вероятности обнаружения $P_o = 0,95$ и вероятности ложной тревоги $P_{лт} = 0,01$ дальность обнаружения целей с $R_э = 0,2$ м составит 200 м, а с $R_э = 2$ м составит 500 м. Исходя из возможности приёма отражённых сигналов с дистанции до 1000 м, период следования зондирующих импульсов, гарантирующий от ложных засветок составит 1,3 с. Возможен последовательный обзор нескольких секторов пространства на любых курсовых углах локации за счёт электронного сканирования сектора обзора.

Предложенный гидролокатор, выполненный на современной элементной базе, будет иметь массу 7 — 10кг. и время работы до 5 час.

Приложение 5.

Водолазный гидролокатор на сигналах Шермана

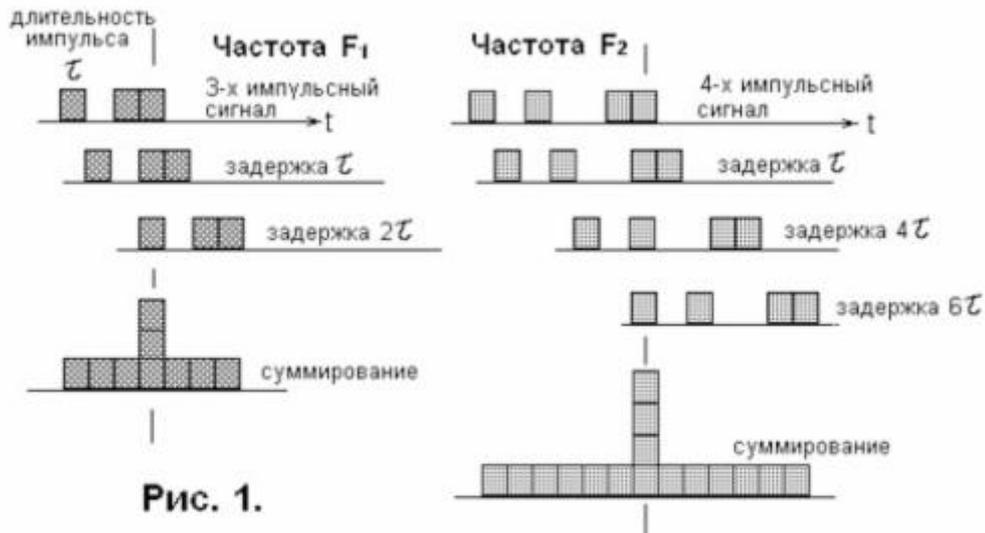
Гидролокатор подкупает простотой своего исполнения и возможностью цифровой обработки сигналов. Процесс сжатия импульсов при амплитудной модуляции (манипуляции) представлен на рис. 1.

Сжатие осуществляется последовательной задержкой импульсов, суммированием и оптимальной фильтрацией. В результате основной импульс расположен на пьедестале из 7-и (для 3-х импульсного кода) или 13-и (для 4-х импульсного кода) импульсной последовательности.

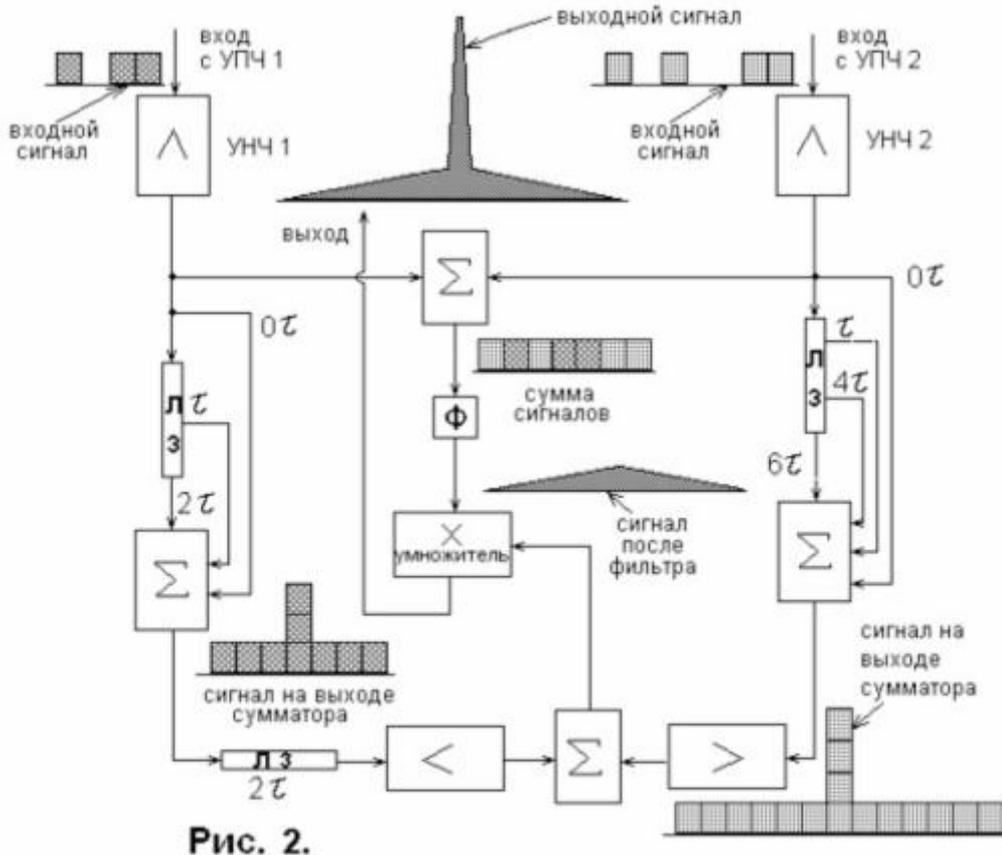
На рис. 2 представлена блок-схема приёмника гидролокатора и формы входных и выходных сигналов.

Передачик излучает импульсные последовательности на частотах F_1 и F_2 (рис. 1 — верхняя строка). Форма последовательностей такова, что импульсы на частоте F_1 совпадают с паузами на частоте F_2 . Это позволяет в приёмнике (рис. 2) после детектирования промежуточных частот вложить импульсы 3-х импульсного кода на частоте F_1 в промежутки 4-х импульсного кода на частоте F_2 . В результате получаем 7-и импульсную последовательность, которую затем пропускаем через оптимальный фильтр (она растягивается до 14 импульсов, но при этом мы теряем высокую разрешающую способность гидролокатора).

Сигналы Шермана и их обработка



Приёмное устройство



Для восстановления разрешающей способности, обрабатываем 3-х и 4-х импульсные последовательности в каналах УНЧ 1 и УНЧ 2.

После усиления 3-х и 4-х импульсные сигналы поступают на линии задержки и сумматоры, где превращаются в 7-и и 13-и импульсные последовательности с максимумом по середине.

Эти последовательности ещё раз суммируем (с совпадением максимумов) и умножаем на сигнал с оптимального фильтра. В результате получаем выходной сигнал с ярко выраженным максимумом, позволяющим восстановить высокую разрешающую способность гидролокатора, определяемую длительностью одиночного импульса.

Предложенная схема гидролокатора равносильна увеличению мощности обычного одноимпульсного гидролокатора в 7 и более раз.

Приложение 6

Корректор речи водолаза-глубоководника

Корректор речи (рис. 1.) содержит: микрофон 1; усилитель низкой частоты 2; балансный модулятор 3, на который подаётся напряжение высокочастотного сигнала с первого гетеродина 4; узкополосный фильтр 5, выделяющий одну боковую полосу; усилитель-ограничитель 6; частотный детектор 7 с фильтром низкочастотного сигнала (0 — 300 Гц); усилитель низкой частоты с переменным коэффициентом усиления 8; частотно-модулированный генератор высокой частоты 9; детектор громкостной огибающей однополосного сигнала 10; усилитель громкостной огибающей с фильтром нижних частот (0 — 35 Гц) 11; амплитудный модулятор высокочастотного сигнала 12; усилитель высокочастотного сигнала 13; амплитудный детектор сигнала 14, на который подаётся высокочастотное напряжение со второго гетеродина 15; частотный корректор 16; усилитель низких частот 17; выходной громкоговоритель 18.

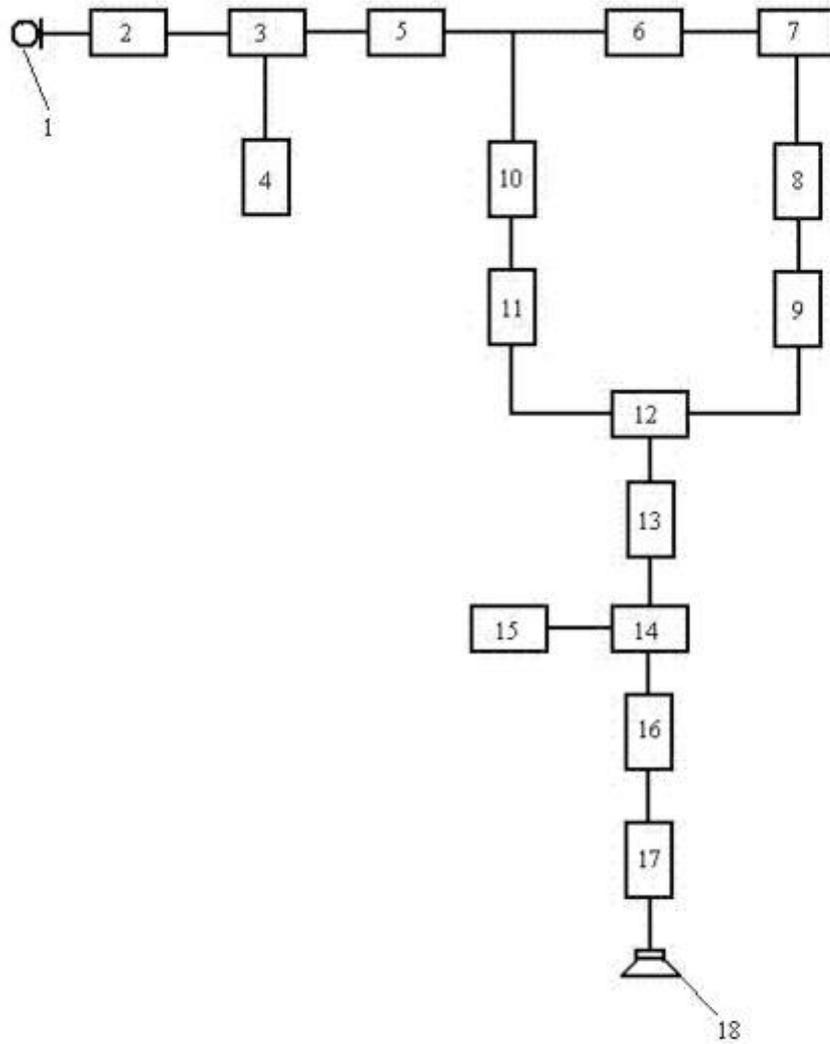
Работает корректор речи следующим образом.

Низкочастотный сигнал с микрофона водолаза 1 усиливается усилителем 2 и поступает на балансный модулятор 3. Туда же подаётся высокочастотный сигнал с первого гетеродина 4. На выходе балансного модулятора образуется двухполосный высокочастотный сигнал с подавленной несущей. На выходе фильтра 5 получаем однополосный сигнал. Усилитель-ограничитель 6 ликвидирует громкостную огибающую сигнала. Частотный детектор 7 преобразует изменяющийся по частоте сигнал в низкочастотный амплитудно-модулированный. Усилитель низкой частоты 8 усиливает сигнал, причём, коэффициент усиления может изменяться в заданном диапазоне. Низкочастотный сигнал используется для частотной модуляции другого высокочастотного генератора 9. При этом девиация частоты определяется уровнем низкочастотного сигнала. Коэффициент частотной коррекции речи определяется как отношение ширины спектра выходного сигнала к исходному спектру на входе корректора. Для водолазов, использующих гелио-кислородные смеси, коэффициент коррекции должен быть меньше единицы. Это значит, что девиация частоты генератора 9 должна быть меньше исходной девиации на выходе усилителя-ограничителя 6. Изменяя коэффициент усиления усилителя 8, можно получить любую необходимую девиацию частоты. Таким образом, спектр входного сигнала умножается на коэффициент коррекции.

Далее, в модуляторе 12 происходит наложение громкостной огибающей исходного спектра речи, выделенной детектором 10, на вновь полученный высокочастотный сигнал, тем самым восстанавливается тонкая структура сигнала. Затем сигнал усиливается и детектируется как обычный однополосный сигнал. Подавленная несущая восстанавливается с помощью второго гетеродина 15. Частота гетеродина может изменяться в небольших пределах, (+100 Гц), что позволяет сдвигать низкочастотный спектр речи вниз или вверх по частоте, добиваясь наибольшей разборчивости. Частотный корректор 16 позволяет изменять уровень верхних и нижних частот речевого спектра. После усиления, преобразованный речевой сигнал поступает на громкоговоритель 18.

Использование изобретения позволяет довольно простым и дешёвым способом преобразовать искажённый спектр речи водолаза в привычный для слуха речевой спектр с сохранением тонкой структуры сигнала.

КОРРЕКТОР РЕЧИ ВОДОЛАЗА



Фиг. 1

ис. 1. Блок-схема корректора речи водолаза.

Берков Юрий Алексеевич

«Водолазная электроника»

20.04.2018.

Под редакцией Технического директора АНО «РТГ»

Павлова Г. Г.